



—



—



ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

**НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ.
ИННОВАЦИИ**

г. НОВОСИБИРСК
8 – 12 ДЕКАБРЯ 2025 г.

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ЧАСТЬ **2**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

**Сборник
научных трудов**

**г. Новосибирск, 08 декабря – 12 декабря 2025 г.
в девяти частях**

Часть 2

НОВОСИБИРСК
2026

УДК 62(063)
ББК 72.5я431
НЗ4

НЗ4 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ // Сборник научных трудов
в 9 ч. / под редакцией Захаровой Е. В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2026.

ISBN 978-5-7782-5564-7
Часть 2: – 604 с.
ISBN 978-5-7782-5566-1

В сборнике публикуются материалы по научным направлениям: *«Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств. Материаловедение, технологические процессы и аппараты», «Энергетика».*

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета:

Батаев А. А., д.т.н., профессор, ректор НГТУ

Зам. председателя Оргкомитета:

Отто А. И., к.т.н., проректор по научной работе и инновациям НГТУ

Программный комитет:

Драгунов В. П., д.т.н., профессор, начальник ОПК ВК,

Корель И. И., к.ф.-м.н., доцент, декан ФТФ

Осьмук Л. А., д.соц.н., профессор, директор ИСТР

Рева И. Л., к.н.т., доцент, декан АВТФ

Мелехина Е. А., к.п.н., доцент, декан ФГО

Чинахов Д. А., д.т.н., доцент, декан ФЛА

Тимофеев В. С., д.т.н., доцент, декан ФПМИ

Эзрох Ю. С., д.э.н., доцент, декан ФБ

Стрельцов С. А., к.т.н., доцент, декан РЭФ

Вильбергер М. Е., к.т.н., доцент, декан ФМА

Тюрин А. Г., к.т.н., доцент, декан МТФ

Русина А. Г., д.т.н., профессор, декан ФЭН

УДК 62(063)
ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-5566-1 (Ч.2)
ISBN 978-5-7782-5564-7

© Коллектив авторов, 2026
© Новосибирский государственный
технический университет, 2026

**НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ**

**Секция ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ,
БИОЛОГИЧЕСКИХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.
ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**ПОЛУЧЕНИЕ АНТОЦИАНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ ОТХОДОВ
ЧЕРНОПЛОДНОЙ РЯБИНЫ *SORBARONIA* × *FALLAX***

Д. С. Алешина¹, Е. А. Авдеенко², А. Д. Гассан²

Руководитель от организации: Авдеенко Е. А.², к.х.н., н.с.

¹Новосибирский государственный технический университет,

**²Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова
СО РАН, г. Новосибирск, dariaaleshina123@gmail.com**

*В работе проведено исследование методов экстракции антоцианов из жомов черноплодной рябины *Sorbaronia* × *fallax*. Экстракция осуществлялась путем варьирования состава экстрагента, длительности и температуры мацерации. Было показано, что наибольшая экстрактивность антоцианов достигается при проведении процесса в течение 2 часов и составе экстрагента 50 масс. % изопропанола и 0,05 масс. % соляной кислоты.*

*This study investigated methods for extracting anthocyanins from the pulp of the black chokeberry (*Sorbaronia* × *fallax*). Extraction was accomplished by varying the composition of the extractant, maceration duration, and temperature. It was shown that the highest anthocyanin extractability was achieved by performing the process for 2 hours and using an extractant composition of 50% isopropanol and 0.05% hydrochloric acid.*

Плодово-ягодное сырье является перспективным источником различных продуктов и химических соединений, обладающих высокой пищевой и биологически-активной ценностью. На сегодняшний день плоды и ягоды в России востребованы в большей степени для переработки в полупродукты и продукты для пищевой промышленности (концентрированные соки, джемы, желе и другие), полупродукты для фармацевтической промышленности (масла, экстракты, сухие порошки, компоненты чая). В то время как отходы ягод (шрот, жом) чаще всего не подвергаются переработке ввиду отсутствия комплексного подхода, что приводит к потере ценных органических соединений. Черноплодная рябина, в частности сельскохозяйственный гибрид *Sorbaronia* × *fallax*

содержит 6-18 масс. % сахаров, 2-7 масс. % полифенольных соединений, 5-6 масс. % клетчатки, 1-2 масс. % органических кислот (в т.ч. лимонной, яблочной, янтарной, сорбиновой и другие кислоты), а также до 1600 мг/100 г аскорбиновой кислоты, 1000-4000 мг/100 г антоцианов, значительное количество витаминов и микроэлементов [1,2], что делает черноплодную рябину важным источником биологически-активных веществ.

При промышленном получении пищевых продуктов, например, концентрированных соков, в качестве отхода производства образуется именно жом, представляющий собой для ягод – густую массу из кожицы, семян и остатков мякоти после отжима сока. Чаще всего жом используется в виде стружки или порошка, предварительно высушенного при температуре 40-60° до остаточной влажности 10-15% [3], однако также может использоваться замороженный жом без предварительного дегидратирования [4]. Предварительное измельчение и замораживание плодов черноплодной рябины повышает выход экстрактивных веществ из жома ягод [4]. Из-за высокого содержания антоцианов черноплодная рябина может быть перспективным сырьем для получения антоциановых красителей – натуральных природных красящих веществ, широко применяемых в пищевой и косметической промышленности под шифром пищевой добавки E163.

Целью настоящей работы являлась разработка научно-технических основ метода извлечения антоцианов из отходов черноплодной рябины *Sorbaronia × fallax* методом экстракции.

Свежая черноплодная рябина *Sorbaronia × fallax*, собранная в Новосибирской области осенью 2025 года, замораживалась для удобства хранения и размораживалась по мере выполнения экспериментов. Размороженные ягоды измельчались на электрической мясорубке и отжимались на электрической шнековой соковыжималке. Полученный жом использовался для экспериментов по экстракции антоцианов методом мацерации, соотношение экстрагент/сырье составило 30:1. При проведении экстракции варьировались следующие параметры: длительность экстракции (1-4 часа), выбор экстрагента (0-60 масс. % изопропанола), добавление кислот (0,05-0,5 масс. %, соляная, лимонная и уксусная кислота). Полученные экстракты были отфильтрованы от частиц жома и проанализированы спектофотометрическим методом при длине волны 520 нм (характерная для антоцианов) в буфере с рН 3,00 с учетом разбавления.

Таблица 1 - расчётная (с учётом разбавления) величина количества цветности экстрактов жомы черноплодной аронии при различном количестве изопропанола в экстрагенте

Массовая доля изопропанола в экстрагенте	Расчетная цветность экстракта, t = 1 час
10%	2,96
20%	5,25
30%	5,825
40%	8,6
50%	11,7
60%	10,875

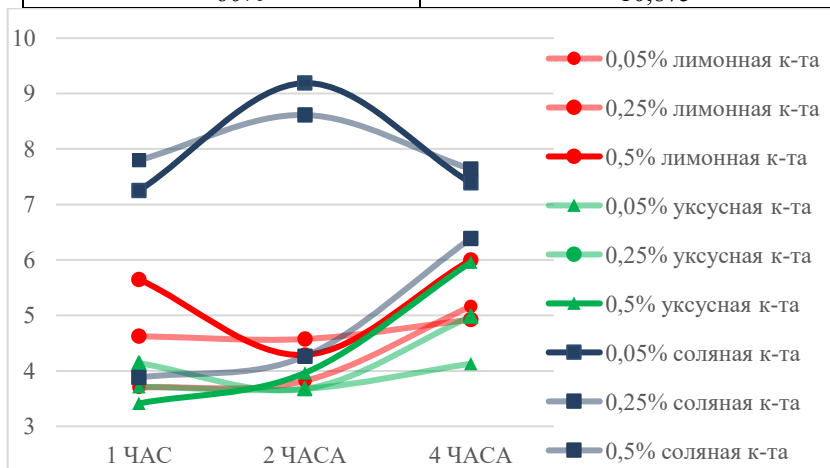


Рис. 1 – расчётная (с учётом разбавления) величина количества цветности экстрактов жомы черноплодной аронии при различном количестве и типе кислоты

По результатам проведенных экспериментов показано, что увеличение длительности экстракции приводит к увеличению содержания антоцианов, при этом для некоторых образцов насыщение наблюдается уже при 2 часах проведения процесса мацерации. Использование 50% и 60% изопропанола в качестве экстрагента не оказывает существенного влияния на выход антоцианов, поэтому с точки зрения экономической эффективности использование 50% изопропанола в качестве экстрагента является более перспективным. (Таблица 1). Добавление кислоты приводит к интенсификации экстракции антоцианов из жомы аронии, при этом наибольший эффект демонстрирует соляная кислота в количестве 0,05 масс. %. (Рисунок 1).

Таким образом, предложенный способ позволяет получать антоцианы из отходов переработки черноплодной рябины *Sorbaronia* × *fallax*. Данные вещества после концентрирования и очистки могут быть использованы в качестве пищевого красителя Е163, что делает предложенный способ переработки отходов ягодного сырья экономичным, экологичным и ресурсосберегающим.

Литература:

1. Цапалова И.Э., Губина М.Д., Голуб О.В., Позняковский В.М. Экспертиза дикорастущих плодов, ягод и травянистых растений. Качество и безопасность / Сиб.универ.из-во / Позняковский В.М. - Новосибирск, 2010. - 1–336 р.
2. Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И., Немзер Б.В. Ягоды: химический состав, антиоксидантная активность. Влияние потребления ягод на здоровье человека // Аналитика веществ и материалов. - 2019. - Vol. 9. - Р. 222–231.
3. Кравченко С.Н., Попов А.М., Химич А.Н. Физиологическая ценность экстрактов, полученных из высушенных ягод и жома клюквы / // Известия вузов. Пищевая технология. - 2009. - № 2–3. - Р. 43–46.
4. Журавлева Ю.А., Земцова М.Н. Исследование химического состава плодов черноплодной рябины, произрастающей в Приволжском регионе / // Пищевая промышленность. - 2013. - № 8. - Р. 20–21.

АРИЛИДЕН/ГЕТАРИЛИДЕН-4,5,6,7-ТЕТРАЙОД-1Н-ИНДЕН-1,3(2Н)-ДИОНЫ: СИНТЕЗ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

Т. Д. Ахмедова^{1,2}, И. Ю. Каргаполова², В. В. Шелковников^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова
г. Новосибирск, ahmdv427@gmail.com

Синтезированы семь красителей, содержащих в акцепторной части тетраиодиндандион, а в донорной – ароматические/тиофеновые остатки. Полученные соединения поглощают в области 427 - 527 нм. Наличие тяжелых атомов йода в полученных арилиден/гетарилиден-1Н-инден-1,3(2Н)-дионах должно способствовать эффективному их использованию в качестве сенситизаторов в процессах фотополимеризации за счёт повышенного выхода в триплетное возбуждённое состояние.

Seven dyes containing tetraiodindanedione in the acceptor part and aromatic/thiophene residues in the donor part were synthesized. The resulting compounds absorb in the range of 427 - 527 nm. The presence of heavy iodine atoms in the obtained arylidene/hetarilidene-1H-indene-1,3(2H)-diones should facilitate their

effective use as sensitizers in photopolymerization processes due to increased release into the triplet excited state.

Арилиден/гетарилиден-1*H*-инден-1,3(2*H*)-дионы активно используются как красители, фармацевтические препараты, флуоресцентные и оптоэлектронные материалы [1], а также в качестве промежуточных соединений при синтезе различных органических веществ.

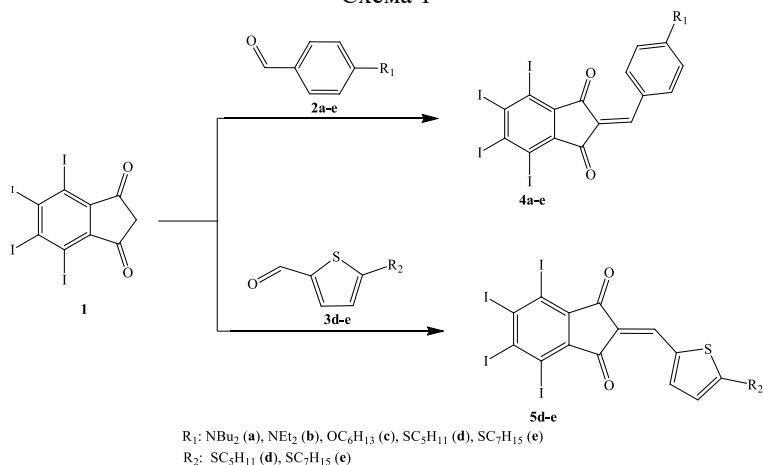
Производные бензилиден-1,3-индандионов являются перспективными хромофорами, они используются в системах инициации фотополимеризации [2], обладают нелинейно-оптическими свойствами [3].

Известно, что красители, содержащие тяжелые атомы (бром, йод), имеют высокий выход в триплетное возбужденное состояние, повышая эффективность фотополимеризации. В работе [4] показано, что йодсодержащие производные 1,3-индандиона могут быть использованы в композициях для записи информации.

В данной работе синтезировано семь тетраидиндандионовых красителей, которые могут быть использованы в качестве сенсibilizаторов фотополимерных материалов для лазерной записи голографических структур.

Конденсацией тетраидиндандиона **1** с ароматическими (**2a-e**) и тиофеновыми (**3d-e**) карбальдегидами в этаноле (схема 1) были получены арилиден/гетарилиден-4,5,6,7-тетрайод-1*H*-инден-1,3(2*H*)-дионы **4a-e**, **5d-e**. Выход красителей составил от 40 до 63%.

Схема 1



Синтез ключевых реагентов – ароматических и тиофеновых карбальдегидов показан на схемах 2-4. Альдегиды получены с выходами 61 – 85%.

Схема 2

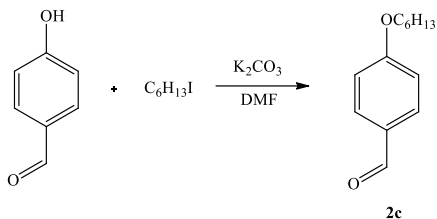
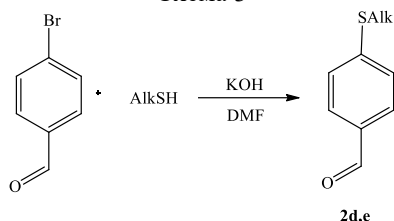
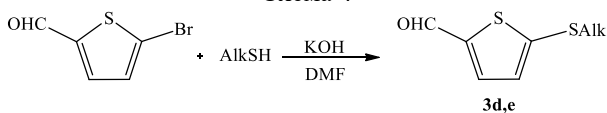


Схема 3



$\text{Alk} = \text{C}_5\text{H}_{11}$ (**d**), C_7H_{15} (**e**)

Схема 4



$\text{Alk} = \text{C}_5\text{H}_{11}$ (**d**), C_7H_{15} (**e**)

Исследование УФ-спектров показало, что красители обладают длинноволновыми полосами поглощения в области от 427 до 527 нм.

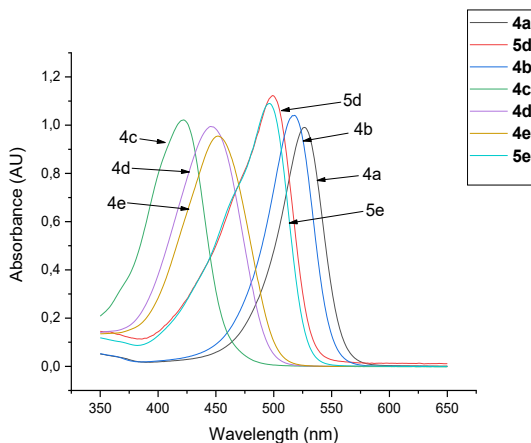


Рис. 2 – УФ-спектр тетраиндандионовых красителей в хлороформе

Диалкиламинобензилиденные красители **4a**, **4b** поглощают в области 523–527 нм, соединения **5d**, **5e**, содержащие (алкилтио)тиофеновый остаток – 499–501 нм, алкилтиобензилиденные производные **4d**, **4e** – при 450–452 нм. Самой коротковолновой полосой поглощения в УФ-спектре обладает алкоксизамещенный бензилидентетраиндандион **4c** – 427 нм.

Планируется исследовать эффективность использования синтезированных красителей-сенситизаторов в системах фотополимеризации.

Литература:

1. Pati H.N., Das U., Sakagami H., Kawase M., Chu Q., Wang Q., Stables J. P., Dimmock. J.R. 1, 3-Diaryl-2-propenones and 2-benzylidene-1, 3-indandiones: A quest for compounds displaying greater toxicity to neoplasms than normal cells // *Archiv der Pharmazie*. – 2010. – Vol. 343, N 9, – P. 535-541. doi: 10.1002/ardp.200900308
2. Sun K., Pigot C., Chen H., Nechab M., Gimes D., Morlet-Savary F., Gra B., Liu S., Xiao P., Dumur F., Lalevée J. Free Radical Photopolymerization and 3D printing using newly developed dyes: indane-1,3-dione and 1H-cyclopentanaphthalene-1,3-dione derivatives as photoinitiators in three-component systems // *Catalysts*. – 2020. – Vol. 10, N 463. doi: 10.3390/catal10040463.
3. Bundulis A., Nitiss E., Mihailovs I., Busenbergs J., Rutkis M. Study of structure–third-order susceptibility relation of indandione derivatives //

Journal of Physical Chemistry C. – 2016. – Vol. 120, N 48. – P. 27515–27522.
doi: 10.1021/acs.jpcc.6b07003.

4. Steinberg I.S., Vasilyev E.V., Shelkovnikov V.V., Kargapolova I.Yu. Use of forbidden singlet – triplet electron transitions in photopolymer material for holographic recording with high intensity nanosecond laser pulses // Optics Communications. – 2022. – Vol. 505. – P. 127540. doi: 10.1002/ardp.202100081.

ТВЕРДОФАЗНЫЙ СИНТЕЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ В СИСТЕМЕ $\text{Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{WO}_4$

Е. Д. Базанова^{1,3}, В. Д. Григорьева^{2,3}, А. Ф. Бондарева^{2,3}

¹Новосибирский Государственный Технический Университет

²Новосибирский Государственный Университет

³Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

г. Новосибирск, ekaterina18ed05v123@mail.ru

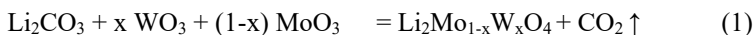
Научный руководитель: Григорьева В. Д., к.х.н.

В работе исследован температурно-временной режим твердофазного синтеза для получения кристаллических фаз состава $\text{Li}_2\text{Mo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_4$, где $x = 0,10, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70, 0,80, 0,90$. Система $\text{Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{WO}_4$ привлекает внимание исследователей благодаря сочетанию свойств вольфраматов и молибдатов лития, которые могут обладать широким спектром функциональных свойств и высокой технологичностью получаемых материалов.

The paper studies the temperature-time regime of solid-state synthesis for obtaining crystalline phases of the composition $\text{Li}_2\text{Mo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_4$, where $x = 0,10, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70, 0,80, 0,90$. The $\text{Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{WO}_4$ system attracts the attention of researchers due to the combination of properties of lithium tungstates and molybdates, which can have a wide range of functional properties and high processability of the resulting materials.

Кристаллы системы $\text{Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{WO}_4$ представляют как научный, так и практический интерес в качестве сцинтилляционных, оптических и влажочувствительных материалов благодаря разнообразию физико – химических свойств, которые нашли применение в медицине, промышленной экологии, энергосбережении и др. областях [1-2]. Так же, молибдаты и вольфраматы щелочных катионов представляют интерес для поиска и изучения безнейтринного двойного бета-распада ($0\nu 2\beta$ -распада), который способен определить природу и массу нейтрино (частица Дирака или Майораны), а также проверить закон сохранения лептонного числа. Обнаружение данного процесса даст возможность подтвердить существования Новой физики вне СМ [3].

Первая серия получения порошков $\text{Li}_2\text{Mo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_4$ ($x = 0,10-0,90$) была получена путем спекания в муфельной печи ($t = 670^\circ\text{C}$) стехиометрических смесей порошков Li_2CO_3 маркировки ОСЧ 15-2, ТУ 609 589-77 и дополнительно очищенных WO_3 и MoO_3 в соответствии с реакцией (1). Полноту протекания реакций контролировали по изменению массы за счет улетучивания CO_2 .



В результате первого прокаливания синтез прошел не до конца, так как порошки имели светло-желтый цвет характерный для соединения Li_2WO_4 . Было проведено еще 2 серии прокаливания при такой же температуре при более долгой выдержке до получения чистого белого цвета. Фазовый состав образцов исследовался с помощью рентгенофазового анализа (РФА). Обнаружено, что при увеличении содержания вольфрамата, в образцах увеличивалась примесь дивольфраматов (рисунок 1).

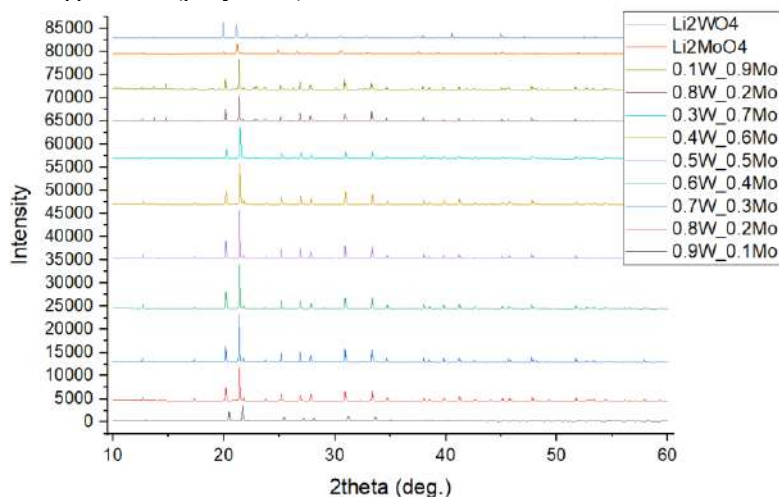


Рис. 1 - Дифрактограммы $\text{Li}_2\text{Mo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_4$ ($x = 0,10-0,90$ с шагом 0,10)

Вторая серия порошков $\text{Li}_2\text{Mo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_4$ была получена путем спекания в муфельной печи стехиометрических смесей порошков Li_2WO_4 и Li_2MoO_4 в соответствии с реакцией (2) по методике представленной в [4]. Синтез проводился в 3 стадии: при температуре 495°C – 2 часа выдержки, далее при температуре 620°C – 2 часа выдержки и при температуре 660°C – 4 часа выдержки. В работе отмечалось, что при данных условиях синтез проходит до конца, однако у нас на выходе порошки так же имели желтый цвет. Синтез с данными условиями и

стадиями проводился еще 2 раза, и при каждой новой загрузке в муфель порошки перетирались в ступке для более лучшей диффузии. Дифрактограммы РФА показали наличие единственной фазы, совпадающей с эталоном для Li_2MoO_4 , однако при увеличении содержания вольфрама наблюдается смещение пиков, связанное с увеличением размера кристаллической ячейки из-за большего ионного радиуса вольфрама (рисунок 2).

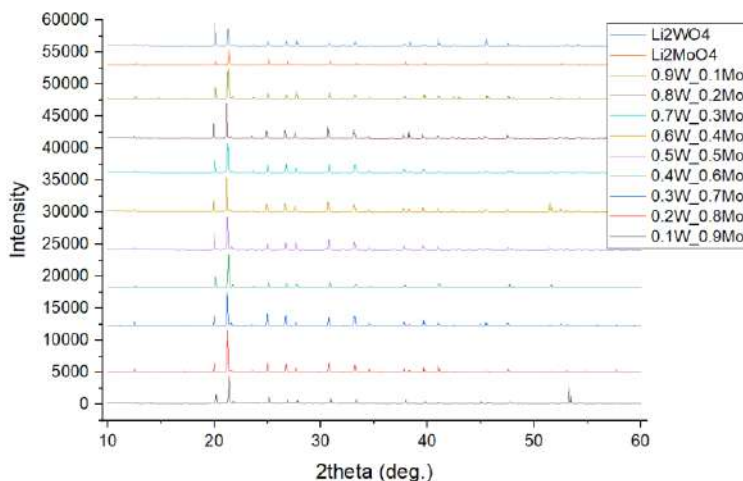
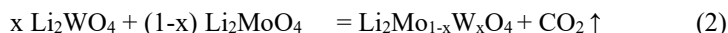


Рис. 2 – Дифрактограммы $\text{Li}_2\text{Mo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_4$ ($x = 0,10-0,90$ с шагом 0,10)

Таким образом, по результатам работы можно сделать вывод, что при использовании одностадийного режима синтеза проходят не до конца. Для получения в системе Li_2MoO_4 - Li_2WO_4 однофазного продукта следует придерживаться 3-х ступенчатого режима синтеза повторяемого 3 раза: выдержка 2 часа при температуре 495 °С, далее при температуре 620 °С – 2 часа выдержки и при температуре 660 °С – 4 часа выдержки.

Литература:

1. Баринова О. П., Вериго К. А., Кирсанова С. В. Исследование процессов фазообразования в системе Li_2O - MoO_3 - WO_3 в области с высоким содержание вольфрама // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. 3, №7. – С. 21–23.

2. Чернов Н. Н., Дьяков А. В. Исследование сцинтилляционных детекторов для устройств точечной радионуклидной диагностики при проведении операционного вмешательства // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 6. – С. 164–173.

3. Румянцева Н. С., Гусев К. Н. Эксперименты по поиску двойного безнейтринного бета-распада // Журнал Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна». Серия «Естественные и инженерные науки». – 2021. – Т. 1, №42. – С. 32–39.

4. Баринаова О. П., Вериго К. А., Кирсанова С. В. Исследование процессов фазообразования в системе $\text{Li}_2\text{O}-\text{MoO}_3-\text{WO}_3$ в области с высоким содержанием вольфрама // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. 3, №7. – С. 21–23.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО МАЙЕНИТА

И. И. Бондарчик^{1,2}, Т. В. Назаренко¹, Е. И. Шуваракова¹

¹Институт катализа СО РАН им. Г.К. Борескова, г. Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет НЭТИ,
г. Новосибирск, bondarchik.2022@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Бедило А. Ф., к.х.н., с.н.с.

В работе было исследовано влияние удаления примеси гидроксида кальция на свойства получаемого высокодисперсного майенита. Также было изучено влияние нанесения углеродного покрытия на термическую стабильность получаемых материалов.

The effect of removing the calcium hydroxide impurity on the properties of obtained finely dispersed mayenite was studied. Also, the influence of depositing a carbon coating on the thermal stability of obtained materials was investigated.

В настоящее время значительный интерес вызывает майенит – алюминат кальция состава $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_{12}A_7), обладающий особыми физическими и химическими свойствами. Как правило, для получения материалов на его основе применяются методы, предполагающие прокаливание при очень высоких температурах, вследствие чего частицы спекаются и понижается удельная площадь поверхности. Данная работа посвящена модифицированию нанокристаллического майенита путём нанесения на его поверхность углеродного покрытия, что приводит к увеличению термической стабильности.

Один из известных методов получения майенита включает смешение оксида кальция и оксигидроксида алюминия (AlOOH) в

водной суспензии при температуре 75 °С [1]. Вначале образуется катоит $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$, который затем разлагается при температуре 300 °С до майенита и гидроксида кальция. При этом неизбежно сохраняются примеси оксидов кальция и алюминия в конечном продукте, что обуславливает необходимость дополнительной стадии очистки.

Данная работа предполагает синтез катоита с исходным молярным соотношением $\text{Ca}:\text{Al} = 3:2$, благодаря чему степень превращения реагентов в катоит близка к 100%. По завершении прокаливания при 300 °С примесь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ удаляется промывкой твёрдой фазы раствором нитрата аммония в смеси этандиола-1,2 (этиленгликоля) и пропанола-2 (изопропанола). Таким образом был получен нанокристаллический образец с минимальным содержанием примесей в фазе майенита и удельной поверхностью 160 м²/г.

На рис. 1 представлены микрофотографии структуры майенита, полученные с помощью сканирующей электронной микроскопии. Видно, что до стадии отмывки (слева) частицы образца имеют близкую к сферической форму, нечёткие грани, а также присутствует значительное количество мелких включений. После отмывки (справа) форма большинства частиц становится ближе к многогранной, а некоторых – кубической, характерной для чистого майенита. При этом наблюдается существенно меньше включений.

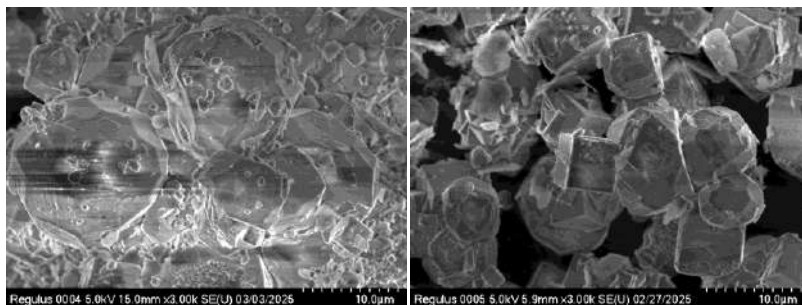


Рис. 1 – Микрофотографии частиц образца до отмывки (слева) и после отмывки (справа)

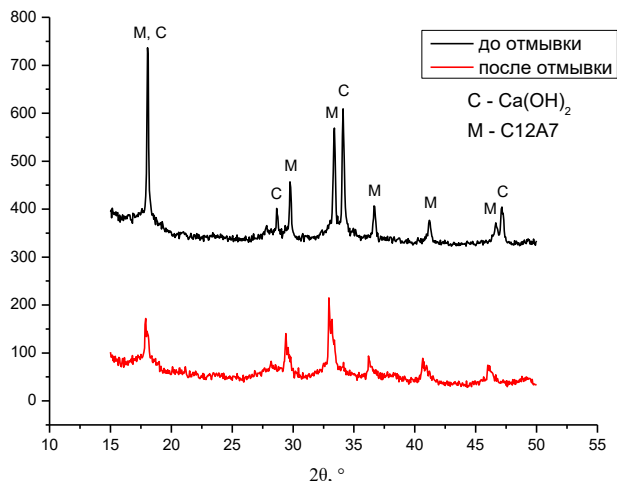


Рис. 2 – Дифрактограмма образца до и после отмывки

Химический состав образцов исследован методом рентгенофазового анализа (РФА). Представленные на рис. 2 результаты свидетельствуют о том, что при отмывке произошло почти полное удаление гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$: исчезли характерные для него пики, снизилась интенсивность образованного совместно с майенитом сигнала в области до 20° .

Следует отметить, что в образцах C12A7, полученных низкотемпературным синтезом, подрешётка содержит гидроксид-анионы OH^- , которые обычно не удаётся заместить более активными анионами или удалить без нагревания свыше 1000°C – такая температура вызывает спекание материала и фазовые превращения его компонентов. При этом именно ионы-заместители отвечают за свойства материалов с фазой майенита, интересующие специалистов. Как было показано ранее, нанесённое на алюминат кальция углеродное покрытие повышает устойчивость к термообработке [2].

Был изучен процесс формирования углеродного покрытия при нанесении на поверхность образца майенита, отмытого от примесей $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 1,3-дигидроксibenзола (резорцина) из его раствора в пропаноле-2. Был синтезирован ряд образцов с содержанием углерода по массе 1, 4, 20%. Производилось прокалывание при 700 или 900°C в потоке инертного газа (аргона), а также последующее выжигание углерода на воздухе при температуре 600°C .

В результате установлено, что в образце с максимальным содержанием углерода наблюдается заполнение всех пор (рис. 3а) с

одновременным исчезновением пор среднего размера (около 20 нм); удельная поверхность достигает 170 м²/г (рис. 3б). Также для данного образца характерна более высокая удельная поверхность после термообработки при 900 °С. Видно, что для образцов, содержащих 4% и менее углерода, она составляет 35-40 м²/г. В то же время для образца с 20% углерода удельная поверхность превышает 100 м²/г. Следовательно, содержание углерода 4% и менее недостаточно для обеспечения термической стабильности майенита.

В заключение можно утверждать, что использованный метод позволяет повысить стабильность майенита при высоких температурах, необходимых для получения данного вещества в активной форме.

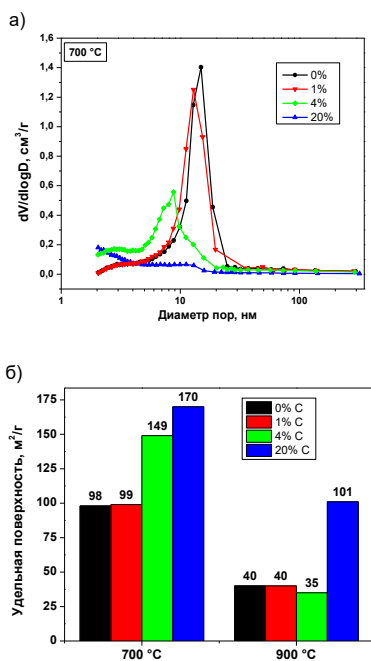


Рис. 3 – Распределение пор по диаметру (а) и удельная площадь поверхности (б) модифицированных углеродом образцов майенита, подвергнутых активации в потоке аргона

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-23-00455).

Литература:

1. Kapishnikov A. V., Shuvarakova E. I., Cherepanova S. V., Gerasimov E. Y., Bepalko Y. N., Maksimovskiy E. A., Volodin A. M., Bedilo A. F. Effect of the Phase Composition of Ca-Al Hydroxide Precursors on the Mayenite Formation // *Ceramics International*. 2025. V. 51. P.35496-35505.
2. Gerus Y. Y., Cherepanova S.V., Ilyina E.V., Shuvarakova E.I., Bedilo A.F., Vedyagin A.A. Interfacial stabilization of calcium aluminate aerogels by carbon shell // *Surfaces and Interfaces*. 2025. V.56. 105754.

СПЕКТРЫ МОЩНОСТИ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИСПАРЕНИИ/КИПЕНИИ ЖИДКОСТИ

А. Е. Брестер^{1,2}, Д. А. Швецов^{1,2}, В. И. Жуков^{1,2},

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН,

г. Новосибирск, brester.2011@stud.nstu.ru

В работе представлены экспериментальные данные по изменению пульсаций давления в зависимости от времени для процесса испарения/кипения горизонтального слоя н-додекана в условиях пониженного давления. Также представлены экспериментальные данные пульсаций температуры поверхности, полученные при пузырьковом кипении горизонтальных слоев диэлектрической жидкости HFE-7100. Для полученных пульсаций параметров приведены спектры мощности от частоты, полученные с помощью быстрого преобразования Фурье.

This paper presents experimental data on the change in pressure pulsations over time for the evaporation/boiling process of a horizontal layer of n-dodecane under reduced pressure. Experimental data on surface temperature pulsations obtained during nucleate boiling of horizontal layers of HFE-7100 dielectric fluid are also presented. Power spectra versus frequency, obtained using a fast Fourier transform, are presented for the obtained parameter pulsations.

Одним из инструментов регистрации кризисных режимов теплообмена при испарении/кипении тонких слоев жидкости является анализ спектров мощности пульсаций давления, полученных с помощью Фурье-анализа.

Эксперименты проводились на теплообменной вакуумной установке, работающей по принципу термосифона. Подробное описание установки приведено в [1]. В качестве рабочей жидкости в экспериментах использовался н-додекан. Перед началом экспериментов в объем рабочей камеры наливали определенное количество рабочей жидкости для создания слоя нужной высоты. Далее проводили дегазацию жидкости при пониженном давлении в течение нескольких часов. Также

эксперименты проводили на нагревателе с кремневой подложкой для диэлектрической жидкости HFE-7100 при атмосферном давлении.

В ходе экспериментов реализовывался ряд стационарных режимов теплообмена, при которых регистрировались давление над слоем жидкости в объеме рабочей камеры с помощью датчика вакуума и температура поверхности с помощью ИК-съемки.

Эксперименты для н-додекана проводились в диапазоне давлений $P = 33\text{--}10^3$ Па и высоте слоя жидкости $h = 1,7\text{--}40$ мм. При давлениях ниже 133 Па процесс парообразования в слоях н-додекана высотой более 10 мм характеризуется периодическими взрывными вскипаниями жидкости, сопровождающимся значительными пульсациями давления (см. рис.1(а)).

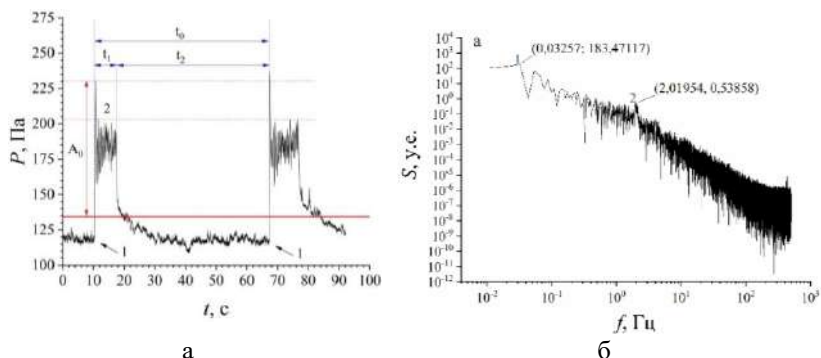


Рис. 1 – Взрывное вскипание н-додекана при высоте слоя 40 мм и рабочем давлении в камере 133 Па (тепловой поток – 27 кВт/м^2):
а - зависимость рабочего давления в камере от времени;
б - Спектры мощности пульсации давления от частоты

В процессе испарения/кипения в слое н-додекана высотой более 10 мм во всем диапазоне изменения тепловых потоков, полученные спектры мощности пульсаций давления имели вид $1/f^\alpha$. Кроме того, на спектрах мощности пульсаций давления имеются два пика: один – в низкочастотной зоне пик №1 (цифра 1 на Рис. 1(б)), второй – в более высокочастотной зоне пик №2 (цифра 2 на Рис. 1(б)). Видно, что частота пика №1 соответствует частоте моменту взрывных вскипаний (стрелка 1 на Рис. 1(а)). Частота пика №2 не менялась при изменении теплового потока и соответствует ≈ 2 Гц. Данная частота соответствует частоте пульсации давления, вызванные взрывным кипением, когда разрушенный слой жидкости существует в виде хаотично движущихся в объеме рабочей камеры капель (цифра 2 на Рис. 1(а)).

Анализ пульсаций температуры поверхности при пузырьковом кипении диэлектрической жидкости HFE-7100 в условиях атмосферного давления (Рис. 2 (а)), показал, что в данном случае также формируются спектры мощности обратно пропорциональные частоте, которые имеют Лоренцеву форму: $S \sim 1/(f_0^2 + f^2)$ с характерной горизонтальной полкой в области низких частот ($f < f_0$) [2].

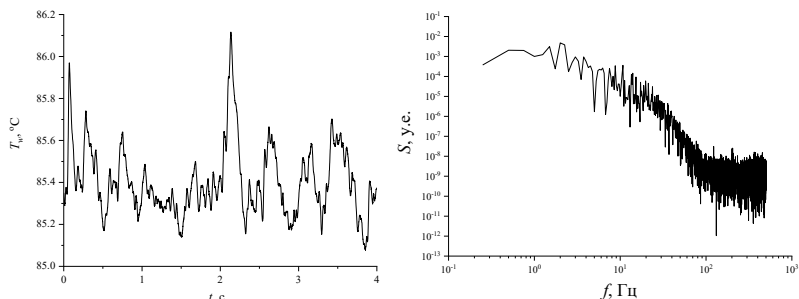


Рис. 2 – Кипение диэлектрической жидкости HFE-7100 при высоте слоя 25 мм и рабочем давлении в камере 100 кПа (тепловой 202.8 кВт/м^2):
а - зависимость температуры поверхности от времени; б - спектры мощности пульсации температуры поверхности от частоты

Получено, что обработка спектров мощности пульсаций давления позволяет установить взаимосвязь между поведением спектральной функции пульсаций давления в различных режимах теплообмена при испарении и кипении жидкости. Кроме того, данный вид обработки пульсаций давлений легко переносить на другие измеряемые параметра и позволяет расширить получаемую информацию от измеряемых параметров. Также обработка полученных спектров может судить о степени приближения к критическому тепловому потоку при развитии кризисных явлений.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ проект № 23-19-00245.

Литература:

1. Zhukov V. I., Pavlenko A. N. Heat transfer and critical phenomena during evaporation and boiling in a thin horizontal liquid layer at low pressures // Int. J. Heat Mass Tran. – 2018. – Vol. 117. – P. 978–990.
2. Skokov V. N., Koverda V. P., Reshetnikov A. V. $1/f$ noise and self-organized criticality in crisis regimes of heat and mass transfer // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2003. – Vol. 46, iss. 10. – P. 1879–1883.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ [NiFeCo]Sn СПЛАВОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ C₂-C₄ УГЛЕВОДОРОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА

И. И. Гладышев

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, ilya.gladyshev.2018@list.ru

Научный руководитель: Бауман Ю. И., к.х.н.

В настоящей работе была изучена каталитическая активность многокомпонентных сплавов [NiFeCo]Sn варьируемого состава, полученных методом механохимического сплавления металлов. Каталитическую активность сплавов исследовали в реакции разложения C₂-C₄ углеводородов в горизонтальном трубчатом реакторе при 650°C (60 мин). Установлено, что добавление 0,5 ат.% олова к сплаву следующего состава Ni:Fe:Co = 18:1:1 обеспечивает максимальный выход углеродного продукта (181 г/г_{кат}).

In present study, the catalytic activity of multicomponent [NiFeCo]Sn alloys of variable composition obtained by mechanochemical alloying of metals has been investigated. The activity of alloys in catalytic pyrolysis of C₂-C₄ hydrocarbons was studied in a horizontal tubular reactor at 650°C (60 min). It was found that the addition of 0.5 at.% tin to the composition of alloy Ni:Fe:Co = 18:1:1 provides the maximum carbon product yield of 181 g/g_{cat}.

Углеродные наноматериалы (УНМ) привлекают большое внимание исследователей благодаря уникальным физико-химическим свойствам, электропроводности, развитой поверхности и возможности её функционализации [1]. Как правило, УНМ получают методом каталитического пиролиза углеводородного сырья на катализаторах, содержащих металлы VIII группы (Ni, Fe, Co) и их сплавы [2].

Для повышения активности катализаторов используют промоторы (Cu, Pt и др.), которые добавляют в небольших количествах. В работе [3] сообщается о возможности использования олова в качестве промотора для никелевого катализатора. Показано, что введение олова в малом количестве способствует значительному увеличению выхода углерода (до 195 г/г_{кат}) в процессе разложения этилена при 550 °C.

В научной литературе всё чаще встречаются исследования, которые посвящены применению многокомпонентных сплавов (в частности, высокоэнтропийных) в качестве катализаторов для синтеза УНМ [4]. Такие катализаторы демонстрируют высокую эффективность и стабильность в процессе формирования углеродных структур.

Таким образом, поиск эффективных и стабильных катализаторов для синтеза углеродных наноматериалов с новыми свойствами остается актуальной задачей.

Для процесса каталитического пиролиза углеводородов с получением УНМ можно использовать как нанесенные, так и массивные катализаторы. В последнем случае, при контакте сплава с углеродсодержащей атмосферой происходит его дезинтеграция (углеродная эрозия) с образованием дисперсных частиц, которые в дальнейшем инициируют рост углеродных нановолокон (УНВ) [5].

Данная работа посвящена разработке многокомпонентного сплава $[\text{NiFeCo}]\text{Sn}_x$. В качестве способа получения нами выбран одностадийный метод механохимического сплавления (МХС) смеси металлических порошков. МХС проводили с использованием планетарной мельницы “Активатор-2S”. Ускорение мелющих тел (стальные шарики диаметром 3 мм) составляло $\sim 50\text{g}$. Отношение массы композита к массе мелющих тел было равным $1/68$. Исследование каталитической активности проводили в горизонтальном трубчатом реакторе в модельной реакции разложения $\text{C}_2\text{-C}_4/\text{H}_2$ смеси при 650°C . Время реакции составляло 60 минут.

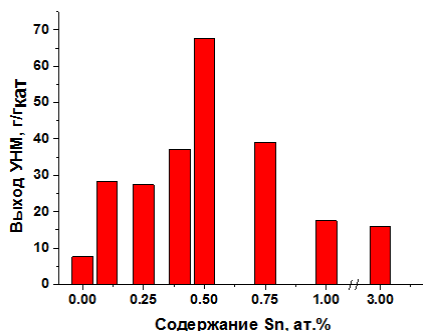


Рис. 1 – Влияние концентрации олова в сплаве $[\text{NiFeCo}]\text{Sn}_x$ на выход УНМ в процессе пиролиза $\text{C}_2\text{-C}_4/\text{H}_2$ смеси при температуре 650°C

По результатам каталитических экспериментов была установлена зависимость активности сплавов $[\text{NiFeCo}]\text{Sn}_x$ от содержания промотора – олова (рис.1). Показано, что добавление олова в количестве 0.5 ат. % в состав эквимольного сплава $\text{Ni:Fe:Co} = 1:1:1$ приводит к максимальному выходу УНМ - $68 \text{ г/г}_{\text{кат}}$ (за 60 минут при 650°C).

Также было найдено, что увеличение доли никеля в составе четырехкомпонентного сплава приводит к заметному возрастанию производительности сплава (рис. 2). В то же время, повышенное содержание железа или кобальта в составе сплава сопровождалось снижением его каталитической активности (при $T = 650^\circ\text{C}$). Анализ показал, что наилучший результат достигается при использовании

следующего состава – $\text{Ni}_{89.5}\text{Fe}_5\text{Co}_5\text{Sn}_{0.5}$ (ат. %), который обеспечивает максимальный выход углерода – 181 г/г_{кат}.

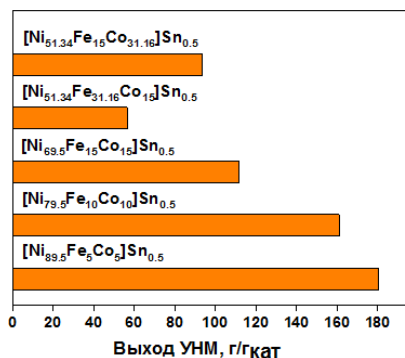


Рис. 2 – Влияние соотношения Ni:Fe:Co в сплаве $[\text{Ni}_x\text{Fe}_y\text{Co}_z]\text{Sn}$ на выход УНМ в процессе пиролиза $\text{C}_2\text{-C}_4/\text{H}_2$ смеси при температуре 650 °C

В докладе будет более подробно обсуждено влияния параметров сплавления металлов (время активации, диаметр мелющих тел) на фазовый состав сплавов. Также будут представлены и обсуждены морфологические особенности и текстурные характеристики углеродного материала, полученного в результате разложения модельной смеси углеводородов $\text{C}_2\text{-C}_4$ на полученных катализаторах.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0034).

Литература:

1. Yadav D., Amini F., Ehrmann A. Recent advances in carbon nanofibers and their applications – A review // *European Polymer Journal*. – 2020. – Vol. 138. – Art. 109963.
2. Chapter 1 - Synthesis of Carbon Nanomaterials Using Catalytic Chemical Vapor Deposition Technique / Ghaemi F., Ali M., Yunus R., Othman R.N. // *Micro and Nano Technologies*. - 2019. - P. 1-27.
3. Boosting effect of single-atom Sn on catalytic activity of Ni towards synthesis of carbon nanofibers from ethylene / Shubin Y.V., Maksimova T.A., Popov A.A., Varygin A.D., Fedorenko A.D., Gerasimov E.Y., Mishakov I.V., Vedyagin A.A. // *Applied Catalysis A: General*. – 2024. – Vol. 670. – Art. 119546.

4. High-entropy alloy catalysts: From bulk to nano toward highly efficient carbon and nitrogen catalysis / Yu L., Zeng K., Lin X., Liu H., Shi W., Qiu H., Yuan Y., Yao Y. // Applied Physics Express. – 2024. – Vol. 17. - Art. 026001.

5. Carbon erosion of a bulk nickel–copper alloy as an effective tool to synthesize carbon nanofibers from hydrocarbons / Mishakov I.V., Afonnikova S.D., Bauman Y.I., Shubin Y.V., Trenikhin M.V., Serkova A.N., Vedyagin A.A. // Kinetics and Catalysis. – 2022. – Vol. 63. – P. 97-107.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРИРОВАНИЯ П-НИТРОФЕНОЛА В ВОДЕ В ПРИСУТСТВИИ Ni-Ru БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАТАЛИЗАТОРА

Н. А. Грибанова^{1,2}, О. В. Комова²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

г. Новосибирск, ggrnxd@mail.ru

Научный руководитель: О. В. Комова, к.х.н., с.н.с

Данная работа посвящена исследованию каталитического процесса гидрирования п-нитрофенола (ПНФ), растворенного в воде, в п-аминофенол (ПАФ) в присутствии боргидрида натрия (NaBH₄, БГН) при комнатной температуре (22±1 °C). В качестве катализатора использовали высокодисперсный твердый раствор Ni_{0,93}Ru_{0,07}. В ходе проведения кинетических экспериментов установлена прямая взаимосвязь между скоростью и селективностью процесса каталитического гидрирования ПНФ с интенсивностью и длительностью выделения H₂. Показано, что процесс выделения водорода зависит от содержания БГН и NaOH в реакционной среде.

This work is devoted to the investigation of the catalytic process of p-nitrophenol (PNP) hydrogenation, dissolved in water, into p-aminophenol (PAP) in the presence of sodium borohydride (NaBH₄, SBH) at room temperature (22±1 °C). A highly dispersed solid solution of Ni_{1-x}Ru_x (x=0.07) was used as a catalyst. During the kinetic experiments, a direct relationship was established between the rate and selectivity of the catalytic hydrogenation of PNP with the intensity and duration of the H₂ evolution. It was shown that the process of hydrogen evolution depends on the SBH and NaOH content in the reaction medium.

Дефицит пресной воды и ухудшение ее качества — серьезные проблемы ближайшего будущего. Хотя Россия занимает второе в мире по запасам пресной воды, важно сохранять её качество [1]. Например, ПНФ попадает в водоёмы со стоками фармацевтических и лакокрасочных производств. ПНФ - стойкое соединение (2 класс опасности), которое сложно разлагается в условиях окружающей среды.

Снизить токсичность возможно при его каталитическом гидрировании до ПАФ (4 класс опасности) [2]. А применение БГН в качестве восстановителя позволяет проводить процесс в мягких условиях в простом реакторе и без необходимости подвода газа.

Известно, что катализаторы на основе благородных металлов (Pd, Pt, Ag, Au) эффективны в данном процессе, однако их широкое применение ограничивает высокая стоимость [3]. Один из путей решения этой проблемы — создание сплавов на основе активного никеля в реакциях гидрирования с уменьшенным содержанием благородного металла.

Цель работы – изучение процесса гидрирования ПНФ методом УФ-спектроскопии в присутствии Ni-Ru катализатора с использованием БГН как восстановителя. Основной задачей являлось установление взаимосвязи между составом реакционной среды, интенсивностью выделения водорода и параметрами каталитического процесса гидрирования ПНФ в ПАФ (скорость и селективность).

Металлический сплав $\text{Ni}_{0,93}\text{Ru}_{0,07}$ (7 ат. % Ru) был синтезирован методом восстановительного термолиза (H_2 , 400 °С, 1 ч) смешанного гидроксида Ni-Ru. Данные РФА (рис. 1) подтвердили образование однофазного биметаллического материала с кристаллической структурой типа Fm-3m. Полученный катализатор обладает магнитными свойствами, что обеспечивает его простое отделение от реакционной среды с помощью внешнего магнита.

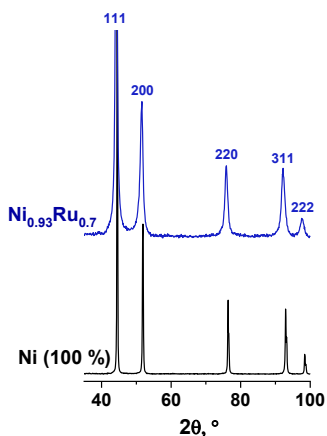


Рис. 1 – Данные рентгенофазового анализа для монометаллического Ni и $\text{Ni}_{0,93}\text{Ru}_{0,07}$ сплава

УФ-спектроскопия - удобный экспресс-метод для изучения активности катализатора в процессе каталитического гидрирования ПНФ

в ПАФ: реакцию проводили непосредственно в кварцевой кювете (оптический путь 1 см) спектрофотометра (Agilent Cary 100) при комнатной температуре ($22 \pm 1^\circ\text{C}$). В ходе каталитического эксперимента в кювету помещали 2,5 мл $0,2 \cdot 10^{-3}$ М раствора ПНФ, затем добавляли твёрдый БГН либо раствор БГН, стабилизированный NaOH, после добавляли 2 мг катализатора и начинали фиксировать изменение спектра. Конверсию ПНФ оценивали по относительному уменьшению интенсивности полосы поглощения при 400 нм. Процесс сопровождался выделением H_2 , обусловленный каталитическим гидролизом БГН.

Анализ УФ спектров показал, что увеличение фонового поглощения, вызванное светорассеиванием на пузырьках H_2 , зависит от скорости газовыделения в кювете. Поэтому, в экспериментах регистрировали не только уменьшение поглощения ПНФ, но и изменение фона. Варьирование условий реакции обозначали мольными отношениями ПНФ: NaBH_4 : NaOH.

Селективность каталитического процесса превращения ПНФ в ПАФ подтверждали по наличию изобестических точек в УФ спектрах, а также по появлению нового поглощения, несвязанного со спектрами исходного вещества или продукта.

Эксперименты показали, что интенсивность выделения водорода в ходе превращения ПНФ в присутствии $\text{Ni}_{0,93}\text{Ru}_{0,07}$ катализатора зависит от содержания БГН и щелочи в реакционной среде (рис.2). Продемонстрировано, что высокое содержание БГН в реакционной среде обеспечивает более интенсивное выделение H_2 и достижение высокой конверсии ПНФ. Добавление щелочи имеет обратный эффект: скорость генерации H_2 снижается. Установлено, что в условиях дефицита H_2 образующийся ПАФ, контактируя с воздухом, превращается в гидрохинон.

Показано, что для обеспечения высоких показателей селективности гидрирования ПНФ в присутствии $\text{Ni}_{0,93}\text{Ru}_{0,07}$ катализатора требуется более высокое отношение $\text{БГН/ПНФ} > 150$ (в молях), обеспечивающее высокую скорость выделения H_2 . В этих условиях возможно использование для проведения реакции раствора БГН, стабилизированного щелочью, способного храниться в течение длительного времени без потери водородной емкости.

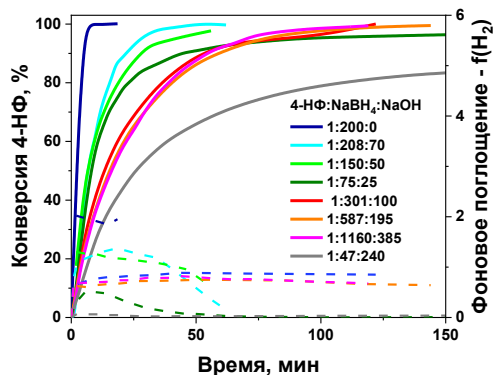


Рис. 2 – Кинетические кривые изменения концентрации ПНФ (сплошные линии) и фонового поглощения (пунктирные линии) во время проведения каталитического процесса гидрирования ПНФ в присутствии $\text{Ni}_{0,93}\text{Ru}_{0,07}$ катализатора при варьировании состава реакционной среды

В работе выполнено сравнение каталитической активности Ru и Ni-Ru катализаторов, проведены ресурсные испытания в выбранных условиях, рассчитаны константы скорости, полученные результаты сопоставлены с литературными данными.

Литература:

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году» / [Н.Г. Рыбальский, В.А. Омеляненко, А.Д. Думнов и др.]; Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Национальное информационное агентство «Природные ресурсы» (НИА-Природа). – Москва: НИА-Природа, 2019. – 290 с.
2. Badamasi H, Naeem Z. et al. A review of recent advances in green and sustainable technologies for removing 4-nitrophenol from the water and wastewater // Sustainable Chemistry and Pharmacy. – 2025. – Vol. 43 – P. 25.
3. Rodriguez Mejia Y., Bogireddy N. K. R. Reduction of 4-nitrophenol using green-fabricated metal nanoparticles // RSC Advances – 2022. – Vol. 12. – P. 18661–18675.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АГАР-N-КАРБОКСИЭТИЛХИТОЗАН ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

П. И. Дубовская¹, А. А. Дранников¹

**¹ Новосибирский государственный технический университет,
Физико-технический факультет, Новосибирск, Россия,
dubovskaya.2022@stud.nstu.ru**

Научный руководитель: Дранников А. А., к.фарм.н.

Данная работа посвящена исследованию взаимодействия агар-агара и N-карбоксиилхитозана (КЭХ) для создания функционального полимерного материала. В ходе работы были приготовлены растворы компонентов и отработана методика их смешения с получением стабильной композиции. Полученные результаты позволяют рассматривать данную систему как перспективную основу для разработки сорбентов, направленных на снижение риска сердечно-сосудистых заболеваний.

This work is devoted to the study of the interaction between agar-agar and carboxyethyl chitosan (CEC) for the creation of a functional polymer material. The methodology for preparing component solutions and their mixing to obtain a stable composition was developed. The obtained results allow to consider this system as a promising basis for the development of sorbents aimed at reducing the risk of cardiovascular diseases.

Распространенность сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) демонстрирует глобальный рост. Наблюдается парадоксальная динамика: в то время как в странах с высоким уровнем дохода отмечается снижение смертности от ССЗ, абсолютное число летальных исходов в мире за период 1990–2010 годов возросло более чем на 25%. Ожидается, что в связи с демографическими изменениями численность пациентов с ССЗ будет увеличиваться, что повлечет за собой рост расходов на их лечение [1].

Одним из ключевых модифицируемых факторов риска развития ССЗ является гипергликемия. Преддиабет рассматривается как значительный фактор прогрессирования сахарного диабета 2 типа (СД2), который, в свою очередь, повышает риск сердечно-сосудистой патологии. В рамках многофакторной стратегии вмешательства эффективный контроль гипергликемии оказывает положительное влияние на снижение риска ССЗ, что справедливо для различных исходных уровней гликированного гемоглобина (HbA1c). При этом, по не до конца выясненным причинам, интенсивная гликемическая коррекция может приводить к сокращению лишь числа нефатальных сердечно-сосудистых событий. В связи с этим актуальной задачей является выявление конкретных механизмов,

посредством которых контроль гликемии снижает кардиоваскулярный риск [2].

В контексте поиска путей модуляции факторов риска ССЗ, таких как дислипидемия, перспективным направлением является исследование пищевых волокон. Известно, что различные типы неперевариваемых полисахаридов обладают способностью связывать липиды, холестерин и желчные кислоты в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), тем самым снижая их системную абсорбцию. В частности, агаровый гель уменьшает осмотическое воздействие низкомолекулярных соединений в ЖКТ и широко используется в диетологических рекомендациях [3].

Особый интерес в качестве абсорбентов представляет хитозан – катионный природный полисахарид, получаемый в промышленных масштабах. В качестве пищевой добавки он демонстрирует способность снижать уровень холестерина и триглицеридов в плазме крови за счет образования гелей в кишечнике, которые связывают липиды и препятствуют их абсорбции [4].

Для целенаправленного управления свойствами полимеров, таких как хитозан, применяются методы химической модификации. Реакция карбоксиалкилирования позволяет контролировать степень функционализации полимера, что непосредственно влияет на его характеристики. Установлено, что с увеличением продолжительности и температуры реакции, что приводит к увеличению степени функционализации биополимера, степень набухания модифицированного полимера снижается, а пористость и степень функционализации возрастают [5].

Целью настоящей работы являлось изучение взаимодействия агара и N-карбоксиэтилхитозана (КЭХ) в качестве компонентов функционального полимерного материала.

Для определения оптимальных условий проведения реакции изменяли несколько параметров: концентрацию агара и температуру нагрева раствора (рисунок 1).

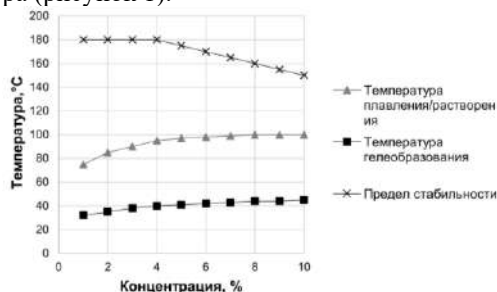


Рис. 1–Зависимость температуры от концентрации агара

Агаровый порошок растворяли в дистиллированной воде в стеклянном реакторе с двойными стенками объёмом 250 мл и выдерживали при температуре 25 °С в течение 24 часов. Суспензию агара нагревали в течение 5 минут при температуре 85 ± 5 °С при перемешивании магнитной тefлоновой мешалкой со скоростью 200 об/мин.

Затем температуру снижали до 60 °С для приготовления раствора образец КЭХ смешивали с раствором агара в реакторе в соотношении 1 г образца: 70 мл раствора при интенсивном перемешивании (800 об/мин). Затем выдерживали при температуре 50 °С с перемешиванием не менее чем на 5 минут для удаления пузырьков воздуха.

Образец карбоксиэтилхитозана был синтезирован в соответствии с методикой, описанной в работе [6]. После этого измельчен до размера частиц 0,2-0,5.

Дополнительно проводили оценку набухания образца. Для этого навеску высушенного геля помещали в избыток воды и выдерживали до достижения равновесного состояния. После инкубации гель извлекали, удаляли избыток влаги фильтровальной бумагой и взвешивали. Набухание в процентах рассчитывали с использованием следующего уравнения (1):

$$S(\%) = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100\%, \quad (1)$$

где W_w – масса влажного вещества, W_d – масса сухого вещества.

Проведенные исследования показали, что образец с соотношением агар и N-карбоксиэтилхитозана 1:1 демонстрирует оптимальный баланс между механической прочностью и сорбционной емкостью. Данная композиция обеспечивает формирование плотной, но эластичной гелевой матрицы, устойчивой к механическим нагрузкам, что критически важно для создания структур пищевых продуктов. При этом КЭХ интегрированный в сетку агара, не теряет своей активности и проявляет высокую способность к связыванию различных мицелл и биологически активных соединений. Именно этот состав был выбран для дальнейшего изучения, так как он позволяет получить стабильный гель с максимально развитой активной поверхностью, который создает основу для разработки новых функциональных продуктов питания.

Литература:

1. Schwarz P. E. H. et.al. Blood sugar regulation for cardiovascular health promotion and disease prevention: JACC health promotion series // J. Am. Coll. Cardiol. 2018. Т. 72. № 15. С. 1829–1844.

2. Rothberg A. E. et.al. Obesity management for the treatment of type 2 diabetes // Diabetes in America. Bethesda (MD): National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases (NIDDK), 2023.
3. Schwarz P. E. H. et.al. Blood sugar regulation for cardiovascular health promotion and disease prevention: JACC health promotion series // J. Am. Coll. Cardiol. 2018. T. 72. № 15. С. 1829–1844.
4. Koide S. S. Chitin-chitosan: Properties, benefits and risks // Nutr. Res. 1998. T. 18. № 6. С. 1091–1101.
5. Нохрин К. А. et.al. Влияние температуры синтеза на степень сетчатости гидрогелей полиакриламида //XXXI Российская молодежная научная конференция «Проблемы теоретической и экспериментальной химии».–Екатеринбург, 2021. – Издательство Уральского университета, 2021. – С. 43-43.
6. Dubovskaia P. I. et.al. Gel-phase synthesis and pH-sensitive swelling-structure relationships of N-carboxyethylchitosan // Eurasian j. chem. 2025. T. 30. № 2(118). С. 19–33.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Н. Н. Еремеева¹, Д. А. Швецов^{1,2}, В. И. Жуков^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

**²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, eremeeva_nikol@mail.ru**

Научный руководитель: Жуков В. И., к.т.н., доцент

Данная работа посвящена разработке методов расчета коэффициента теплоотдачи при кипении фреонов, органических жидкостей, н-додекана, н-пентана, диэлектрической жидкости HFE-7100. В работе осуществлен ряд расчетов по выражению, полученному из формулы Розенау, в которой постоянная заменена на безразмерный критерий подобия, а показатели степени при остальных критериях оставлены без изменения. Расхождение экспериментальных данных, полученными при кипении различных жидкостей, с результатами расчета находится в пределе 15%.

This paper focuses on the development of methods for calculating the heat transfer coefficient during the boiling of freons, organic liquids, n-dodecane, n-pentane, and HFE-7100 dielectric fluid. This work includes a series of calculations using an expression derived from the Rohsenow formula, in which the constant is replaced by a dimensionless similarity criterion, while the exponents for the remaining criteria remain unchanged. The discrepancy between the experimental data obtained by boiling various liquids and the calculation results is in the range of 15%.

Наиболее известной расчетной зависимостью для теплообмена при кипении является формула Розенау [1]. В ней предполагается, что определяющим фактором является процесс конвективной теплоотдачи.

$$\frac{c_p \Delta T}{h_{LG}} = C_{sf} \left(\frac{ql_\sigma}{\mu_L h_{LG}} \right)^m \left(\frac{c_p \mu_L}{\lambda_L} \right)^n, \quad (1)$$

где C_p – удельная теплоемкость, Дж/кг·К, h_{LG} – скрытая теплота парообразования, Дж/кг, q – тепловой поток, Вт/м², l_σ – постоянная Лапласа, м, μ_L – динамическая вязкость Па·с, λ_L – теплопроводность жидкости, Вт/м·К. Остальные величины $m = 0.33$, $n = 1.7$ являются эмпирическими. C_{sf} – константа, с помощью которой учитываются характеристики различных соотношений поверхность-жидкость, обычно определяется из экспериментов, если экспериментальных данных нет, то надо принять $C_{sf} = 0.013$.

Розенау предложил записывать соотношение (1) с помощью безразмерных критериев подобия в виде:

$$Nu = \frac{1}{C_{sf}} Re^{2/3} Pr^{-0.7}, \quad (2)$$

где Nu – число Нуссельта, Re – критерий Рейнольдса, Pr – критерий Прандтля.

В данной работе предлагается метод расчета коэффициентов теплоотдачи для различных жидкостей на основе формулы Розенау (2). Предполагается, что константа C_{sf} равна (l_v/l_σ) . Тогда соотношение (2) приобретает следующий вид:

$$Nu = \frac{1}{(l_v/l_\sigma)} Re^{2/3} Pr^{-0.7}, \quad (3)$$

где $l_v = \left(\frac{v_L^2}{g} \right)^{1/3}$ – вязкостно-гравитационная постоянная, м; $l_\sigma = \left(\frac{\sigma}{\rho_L g} \right)^{1/2}$ – капиллярная постоянная, м.

Из формулы (3) получается следующая зависимость для коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{\lambda_L}{l_v} Re^{2/3} Pr^{-0.7}, \quad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К.

На основе соотношения (4) был произведен ряд вычислений, показавший достаточно хорошие результаты (расхождение менее 15%). Расчет производился для фреона R-123, додекана, н-пентана и диэлектрической жидкости HFE-7100.

В процессе работы были сопоставлены значения, полученные авторами [2] и теоретические, полученные при использовании отношения (l_v/l_σ) вместо C_{sf} . Результат представлен на рис.1.

Для фреона R-123 разница между значениями коэффициентов C_{sf} – минимальная для небольших значений приведенного давления p_r . Расхождение между коэффициентами C_{sf} , подсчитанными по формуле (4) и определенными экспериментально [2], составляет до 9%. Следовательно, для фреона R-123 расчет можно проводить для получения значений коэффициента теплоотдачи.

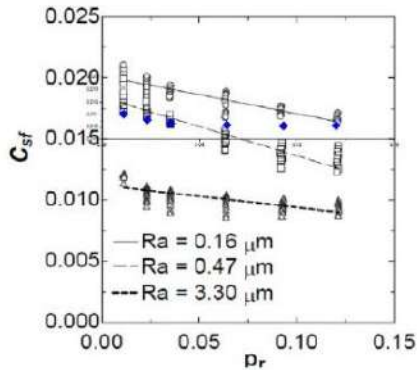


Рис. 1 – Изменение C_{sf} в зависимости от приведенного давления для фреона R-123. Ромбиками показан расчет по формуле (4)

Для н-додекана эта методика дает менее точные результаты, поэтому, чтобы увеличить точность вычислений, формулу необходимо привести к следующему виду:

$$\alpha = \frac{\lambda}{l_v} Re^{\frac{2}{3}} Pr^{-0.7} \left(\frac{\left(\frac{l_v}{l_\sigma} \right)}{\left(\frac{l_v}{l_\sigma} \right)_{\text{эталон}}} \right)^2, \quad (5)$$

где в числителе находится отношение вязкостной и капиллярной постоянных для н-додекана, а в знаменателе - для эталонной жидкости при одинаковом приведенном давлении. Для н-додекана за эталонную жидкость принят н-пентан.

Как видно из рис. 2, расчет по формуле Розенау с постоянной $C_{sf} = 0.013$ и по формуле (5) практически совпадают.

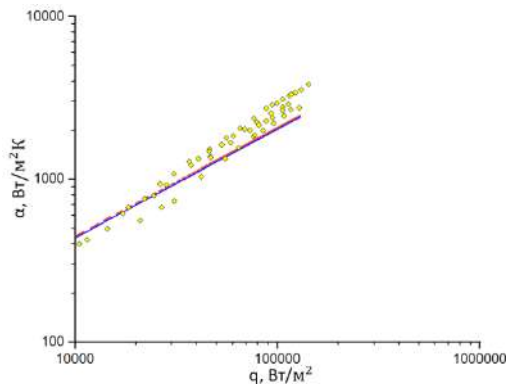


Рис. 2 – Сравнение расчета с экспериментом для н-додекана

По формуле (5) также был произведен расчет для диэлектрической жидкости HFE-7100 (Рис. 3). Как видно из рисунка, расчет по формуле (5) намного лучше совпадает с экспериментальными данными.

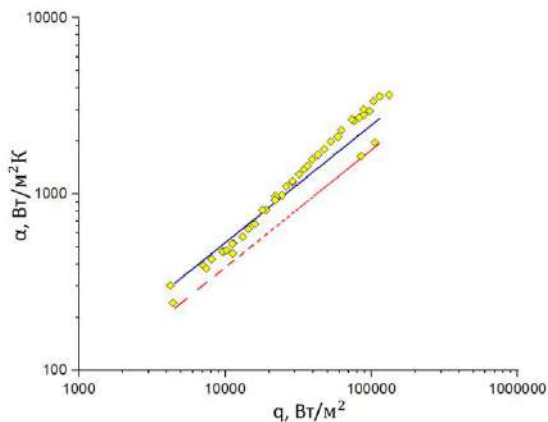


Рис. 3 – Сравнение расчета с экспериментом для диэлектрической жидкости HFE-7100. Расчет по формуле (5) показан сплошной линией, по формуле (1) – пунктиром

В рамках работы разработан метод получения коэффициента теплоотдачи для ряда веществ. Он показал удовлетворительные результаты для фреона R-123 и точные для н-додекана. Для диэлектрической жидкости HFE-7100 коэффициент теплоотдачи, подсчитанный по формуле (5), совпадает лучше с экспериментальными значениями, чем по формуле Розенау.

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ проект №23-19-00245.

Литература:

1. Rohsenow W. M., A Method of Correlating Heat-Transfer Data for Surface Boiling of Liquids // Transactions of the American Society of Mechanical Engineers – 1952. – Vol. 74. – P. 969-976.
2. Saiz Jabardo J. M., Fockink da Silva E., Ribatski G., de Barros S. F., Evaluation of the Rohsenow Correlation Through Experimental Pool Boiling of Halocarbon Refrigerants on Cylindrical Surfaces // J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng. – 2004. – Vol. 26, N 2. – P. 218-230.

ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ НА МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Е. Д. Иванова¹, А. Е. Брестер^{1,2}, В. И. Жуков^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, ivanovaelizaveta227@gmail.com

Научный руководитель: Жуков В. И., к.т.н., доцент

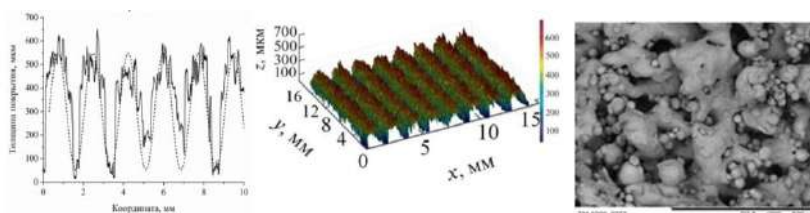
В работе выполнено тестирование метода расчёта коэффициента теплоотдачи при кипении н-додекана и диэлектрической жидкости HFE-7100 на микроструктурированных пористых бронзовых поверхностях. Для анализа использована эмпирическая корреляция, разработанная для металлических пористых структур. Экспериментальные данные, полученные на установке для исследования кипения в условиях низкого давления, сопоставлены с теоретическими значениями. Показано, что оба набора данных демонстрируют одинаковый характер зависимости коэффициента теплоотдачи от теплового потока.

The work tested a method for calculating the heat transfer coefficient during boiling of n-dodecane and dielectric liquid HFE-7100 on microstructured porous bronze surfaces. The analysis employs the empirical correlation originally developed for metallic porous structures. Experimental data obtained from a low-pressure boiling facility were compared with theoretical predictions. Both datasets exhibit similar trends of heat-transfer coefficient growth with increasing heat flux.

Модификация поверхности нагрева позволяет увеличивать значения коэффициента теплоотдачи при кипении различных жидкостей. В данной работе апробирован метод расчёта коэффициента теплоотдачи при кипении н-додекана и HFE-7100 на микроструктурированных

капиллярно-пористых бронзовых поверхностях. На рис. 1 представлена характеристика микроструктурированной бронзовой поверхности [1]. Слева приведены профили покрытия, демонстрирующие регулярный периодический рельеф с изменением толщины покрытия от 50 мкм до 550 мкм. В центре представлена 3D-топография, наглядно показывающая гребневидные структуры с максимальной высотой в отдельных точках 600 мкм. Справа приведены СЭМ-изображения бронзового порошкового слоя. Видно, что поверхность состоит из конгломератов частиц различной формы с характерными межзёрнными порами. Такая морфология соответствует капиллярно-пористой структуре, способной удерживать жидкость и обеспечивать наличие большого числа активных центров парообразования. Периодический рельеф с изменением толщины покрытия обеспечивает распределение потоков жидкости и пара.

Образец 1



Образец 2

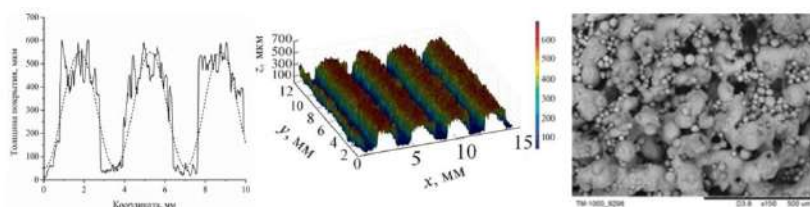


Рис. 3 – Микроструктура и рельеф капиллярно-пористых бронзовых поверхностей.

Для проверки применимости расчётных методик теплообмена при кипении на пористых покрытиях использовалась экспериментальная установка [2]. Описываемая установка представляет собой вакуумный термосифон с регулируемым давлением и системой измерения, позволяющей фиксировать температуры, давление и тепловые потоки при кипении диэлектрической жидкости HFE-7100

(метоксинафтафторбутана) и н-додекана. Конструкция установки обеспечивает визуализацию процесса и точный контроль параметров, что делает её подходящей для верификации расчетных моделей теплоотдачи.

После проведения экспериментов на установке, описанной в работе, и получения массивов экспериментальных данных по температурам и давлению при кипении диэлектрической жидкости н-додекана и HFE-7100 на капиллярно-пористой 2-D модулированной бронзовой поверхности, выполнена проверка применимости расчетных формул.

Для анализа использована эмпирическая корреляция, предложенная для кипения на капиллярно-пористых металлических структурах [3]. Основная расчетная зависимость имеет вид:

$$Nu = \frac{\alpha L_c}{k_{eff}},$$

$$Nu = 19.9 \left[\left(\frac{q L_c}{k_{eff} T_{sat}} \right)^{0.615} \left(\frac{c_{p,l} \mu_l}{k_{eff}} \right)^{0.322} \left(\frac{c_{p,l} T_{sat}}{h_{lv}} \right)^{-0.118} \left(\frac{\delta}{L_c} \right)^{f(q)} \left(\frac{d_p}{L_c} \right)^{-0.2} \right],$$

где α – коэффициент теплоотдачи, [Вт/м²·К]; L_c – капиллярная постоянная, [м]; q – тепловый поток, [Вт/м²]; k_{eff} – эффективная теплопроводность пористого покрытия, [Вт/м·К]; T_{sat} – температура насыщения жидкости, [К]; $c_{p,l}$ – теплоемкость жидкости, [Дж/кг·К]; μ_l – вязкость жидкости, [Па·с]; h_{lv} – скрытая теплота парообразования, [Дж/кг]; δ – толщина покрытия, [м]; d_p – диаметр пор, [м];

$$f(q) = \frac{5.92}{25.3 + \exp(0.0314 \cdot 10^{-3} q / 1000 - 0.362)} - 0.0366.$$

Средний диаметр пор составляет 40 мкм.

Выражение для определения эффективной теплопроводности пористого покрытия имеет вид:

$$k_{eff} = (2 - 3\varepsilon)k_s/2,$$

где k_s – теплопроводность материала покрытия, [Вт/м·К]; $\varepsilon = 0.44$ – пористость покрытия.

На рис. 2 выполнено сопоставление расчетов с экспериментальными данными, полученными на бронзовых покрытиях при кипении н-додекана и HFE-7100. Из сопоставления расчетных и экспериментальных данных для обеих жидкостей следует отметить одинаковый характер роста коэффициента теплоотдачи с увеличением теплового потока, что подтверждает корректность общей тенденции, описываемой формулой [3]. Качественное совпадение трендов подтверждает применимость модели для ориентировочных оценок. Из рис. 2 видно, что расчет для н-додекана лежит выше кривых, а для HFE-7100 – между кривыми, полученными на различных бронзовых покрытиях. Данный результат вызван тем, что расчет не учитывает форму капиллярно-пористых покрытий и, соответственно, распределение потоков жидкости и пара, но

позволяет оценить возможную интенсификацию теплообмена при кипении на пористых покрытиях. Дальнейшее уточнение эмпирических коэффициентов в уравнении с помощью сравнения большого количества экспериментальных данных позволит увеличить точность расчетов.

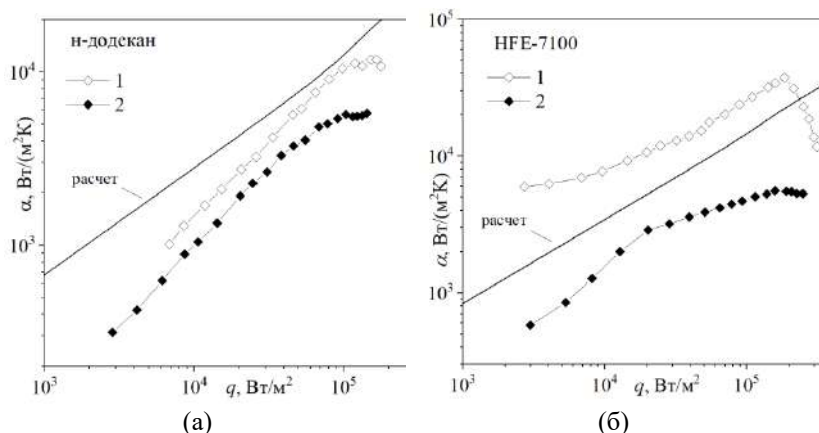


Рис. 2 – Зависимость коэффициента теплоотдачи от теплового потока для различных жидкостей: (а) – н-додекан, (б) – HFE-7100.

Цифровые обозначения: 1 – образец 1, 2 – образец 2

Исследование выполнено за счет гранта РНФ проект № 23-19-00245.

Литература:

1. Zhukov V.I., Shvetsov D.A., Pavlenko A.N. Effect of shape and thermal conductivity of microstructured capillary-porous coatings on heat transfer during evaporation and boiling in thin horizontal liquid layers // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2024. – Vol. 232. – P. 125937.
2. Brester A., Zhukov V., Pavlenko A. Influence of liquid layer height on evaporation/boiling heat transfer under low pressure conditions // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 459. – P. 6.
3. Manetti L.L., Moita A.S.O.H., Cardoso E.M. A new pool boiling heat transfer correlation for wetting dielectric fluids on metal foams // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2021. — Vol. 171. — P. 121070.
4. Bodla K.K., Murthy J.Y., Garimella S.V. Direct simulation of thermal transport through sintered wick microstructures // J. Heat Transfer. – 2012. – Vol. 134. – P. 012602.

СОРБЦИЯ УРАНА АНИОНИТАМИ ИЗ СМЕШАННЫХ РАСТВОРОВ СЕРНОЙ И СОЛЯНОЙ КИСЛОТ

В. Е. Каёткин, С. В. Козьмин, С. М. Титова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, vadim.kaetkin@urfu.ru

Научный руководитель: Рычков В. Н., д.х.н., профессор

В работе представлено исследование влияния концентраций серной и соляной кислот на эффективность сорбции урана анионитами из смешанных растворов.

The paper presents a study of the influence of concentrations of sulfuric and hydrochloric acids on the efficiency of uranium sorption by anion exchangers from mixed solutions.

В настоящее время большинство отечественных месторождений урана отрабатывают методом сернокислотного скважинного подземного выщелачивания (СПВ) с последующей сорбционной переработкой продуктивных растворов на анионитах. Введенное в эксплуатацию в 2025 году новое месторождение урана характеризуется повышенной минерализацией, вследствие чего продуктивные растворы СПВ отличаются повышенным до 7-9 г/дм³ содержанием хлорид-ионов. Известно, что хлорид-ионы и сульфат-ионы могут оказывать депрессирующее влияние на сорбцию урана анионитами [1]. В то же время за счет комплексообразования уранил-ионов с хлорид-ионами сорбируемость урана может возрастать.

Целью работы является исследование влияния концентраций H₂SO₄ и HCl на статическую обменную емкость по урану ряда сильноосновных анионитов при сорбции из смешанных растворов.

В таблице 1 приведен перечень применяемых анионитов.

Таблица 1 – Перечень применяемых в исследовании анионитов

Ионит	Структура	Функциональная группа
АМП	Гелевый	Бензилпиридиниевая
АМП-п	Макропористый	Бензилпиридиниевая
АВПМ	Макропористый	Пиридиниевая
АВПГ	Гелевый	Пиридиниевая
Axionit VPA-2	Макропористый	Винилпиридиновая

Иониты предварительно кондиционировали раствором серной кислоты с концентрацией 20 г/дм³ при фазовом соотношении твердого к жидкому, равном 1 : 100. Время кондиционирования составило 3 суток. По истечении указанного времени фазы разделяли, иониты отмывали

дистиллированной водой на нутч-филтре до достижения pH 4-5 в маточных растворах промывки. Затем иониты оставляли сушить на воздухе.

Сорбцию вели в статическом режиме. Для этого навеску ионита в воздушно-сухом состоянии массой 50 мг приводили в контакт с 100 см³ модельного раствора, содержащего U – 1 г/дм³; HCl – 0-6 моль/дм³; H₂SO₄ – 0,05-2 моль/дм³ при постоянном перемешивании. Температура процесса 20-22 °С. Время контакта фаз – 3 суток. По окончании перемешивания фазы разделяли, отбирали пробы маточников сорбции, направляли на количественный элементный анализ методом ICP-AES.

По результатам анализа определили значение статической обменной емкости ионитов по урану (COE) по формуле (1):

$$E_{COE} = \frac{(C_1 - C_2) \cdot V_{p-pa}}{m_u} \quad (1)$$

где C_1 – концентрация урана в исходном продуктивном растворе, мг/дм³;

C_2 – равновесная концентрация урана в растворе после сорбции, мг/дм³;

V_{p-pa} – объем разовой загрузки модельного раствора, дм³;

m_u – масса навески ионита, г.

На рисунках 1-5 представлены зависимости значений COE по урану от концентраций соляной и серной кислот для исследуемых анионитов.

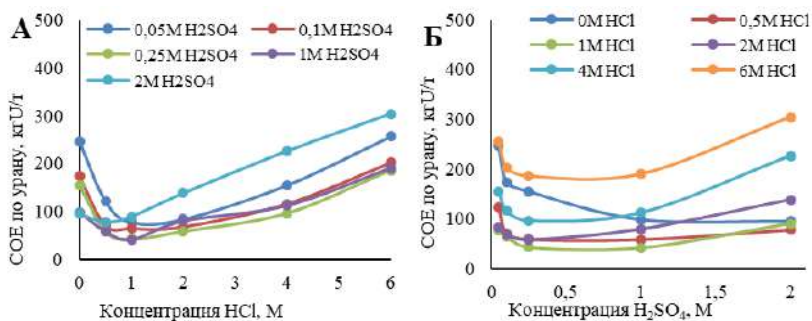


Рис. 1 – Зависимость статической обменной емкости по урану анионита АМП а) от концентрации HCl; б) от концентрации H₂SO₄

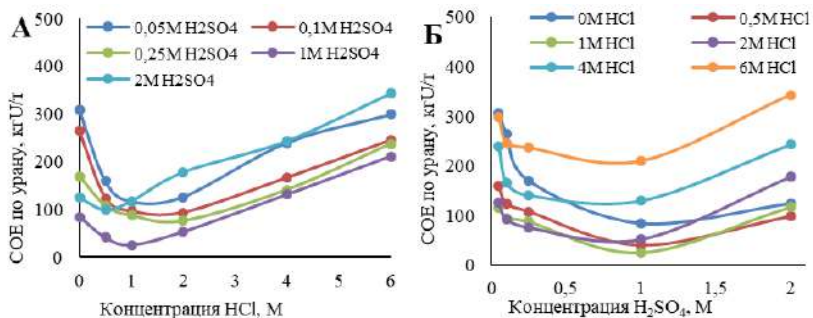


Рис. 2 – Зависимость статической обменной емкости по урану анионита АМП-П а) от концентрации HCl ; б) от концентрации H_2SO_4

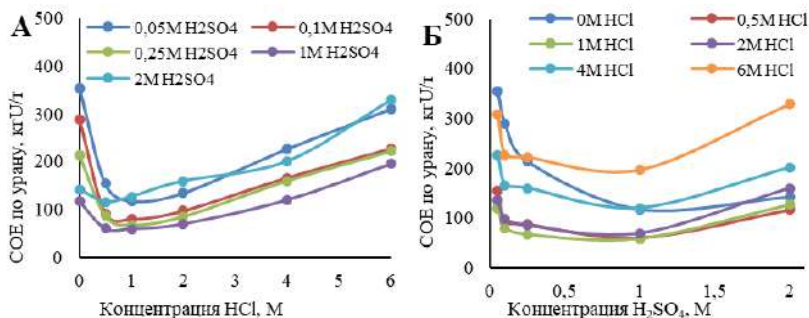


Рис. 3 – Зависимость статической обменной емкости по урану анионита АВПМ а) от концентрации HCl ; б) от концентрации H_2SO_4

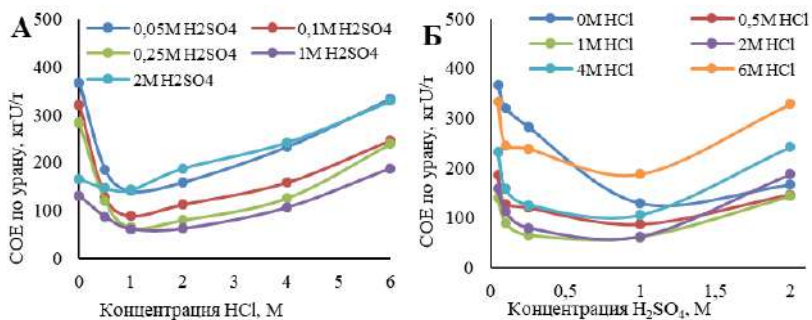


Рис. 4 – Зависимость статической обменной емкости по урану анионита ВРА-2 а) от концентрации HCl ; б) от концентрации H_2SO_4

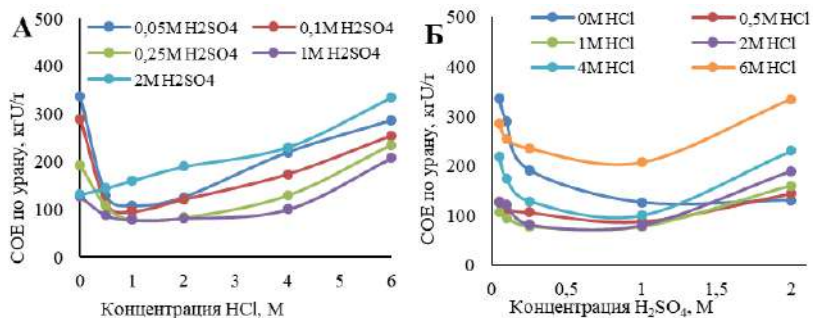


Рис. 5 – Зависимость статической обменной емкости по урану анионита АВПГ а) от концентрации HCl; б) от концентрации H₂SO₄

В растворах, содержащих только серную кислоту, с увеличением ее концентрации наблюдается снижение емкости по урану, что объясняется конкурентной сорбцией HSO₄⁻-иона. В растворах, содержащих смесь кислот, депрессирующего влияния серной кислоты на сорбцию урана не наблюдается.

В растворах, содержащих смесь кислот, при изменении концентрации HCl от 0М до 2М емкость по урану значительно снижается, что можно объяснить конкурентной сорбцией хлорид-ионов и увеличением доли катионных комплексов и нейтральных молекул [2]. При изменении концентраций HCl от 2М до 6М емкость анионитов по урану возрастает вследствие образования сорбируемых уранил-хлоридных анионных комплексов.

Наибольшие значения COE достигаются при концентрациях H₂SO₄ 0,05М и HCl 0М, а также при H₂SO₄ 2М и HCl 6М. В таких условиях лучшие результаты показали иониты АВПМ и VPA-2. Полученные значения COE представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Статическая обменная емкость анионитов по урану при сорбции из смешанных растворов кислот

Концентрации кислот	Статическая обменная емкость, кгU/г	
	АВПМ	VPA-2
H ₂ SO ₄ 0,05М, HCl 0М	354,26	367,49
H ₂ SO ₄ 2М, HCl 6М	329,25	329,19

Изменения емкостных характеристик являются следствием конкурентной сорбции хлорид-ионов и сульфат-ионов, а также изменением формы состояния урана в растворе сорбции.

Литература:

1. Громов Б. В. Введение в химическую технологию урана. – М.: Атомиздат, 1978. – 336 с.

2. A spectroscopic study of uranyl speciation in chloride-bearing solutions at temperatures up to 250 °C / A. A. Migdisov, H. Boukhalfa, A. Timofeev, W. Runde, R. Roback, A.E. Williams-Jones // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2018. – Vol. 222. – P. 130-145. – doi: 10.1016/j.gca.2017.10.016.

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК СЛОЖНОЭФИРНЫМИ ГРУППАМИ И ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

В. Н. Коваленко, В. В. Головахин, А. Г. Баннов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, v.kovalenko.2022@stud.nstu.ru**

Проведена ступенчатая функционализация МУНТ-1020: сначала сильное окисление в азотной кислоте (введение кислородсодержащих групп), затем этерификация (введение сложных эфиров при помощи уксусной кислоты, пропанола, изопропанола и их смесей). Полученные образцы использовались для приготовления суспензий, ультразвуковой дисперсии и последующего нанесения растворов аэрографом на нагретую подложку для формирования чувствительного слоя газовых сенсоров.

A stepwise functionalization of MWCNT-1020 was performed: first, strong oxidation in nitric acid (introduction of oxygen-containing groups), followed by esterification (introduction of esters using acetic acid, propanol, isopropanol, and their mixtures). The resulting samples were used to prepare suspensions, ultrasonic dispersion, and subsequent airbrush application of the solutions onto a heated substrate to form the sensitive layer of gas sensors.

Создание эффективных газовых сенсоров необходимо для более точного мониторинга токсичных газов в воздухе промышленной и жилой зон. Современные датчики токсичных газов состоят из полупроводниковых оксидов металлов, но минусом данной технологии является то, что их работа возможна только при высокой температуре 200-300 °С. В связи с этим необходима разработка газовых сенсоров, которые будут работать при комнатной температуре (20±2 °С). Одним из

материалов, подходящих для данной задачи, является углеродные нанотрубки (УНТ). В первую очередь они эффективны из-за развитой удельной поверхности, которая позволяет сорбировать на себе газы. Второе преимущество – дефектность материалов. Сорбция токсичных газов может происходить и по дефектным областям. Основным механизмом взаимодействия газа с УНТ – передача электронов с поверхности УНТ к газу-аналиту (если газ электрон-акцептор) и передача электронов от газа-аналита к УНТ (если газ электрон-донор).

Существует большое количество методов модификации поверхности – химическая, электрохимическая, плазменная и др. [1], которые позволяют получать материал с функциональными группами на поверхности (например, карбоксильные, карбонильные, спиртовые (фенольные)). УНТ можно обрабатывать растворами минеральных кислот различной концентрации. Кроме того, возможна модификация поверхности в несколько этапов, потому что обработка только минеральными кислотами может не приводить к значительному улучшению результатов.

Таким образом, в данной работе, был выбран метод модификации поверхности УНТ сложными группами путем двухстадийной модификации поверхности. Подробная методика представлена ниже.

1. Окисление МУНТ-1020 в концентрированной азотной кислоте при 80 °С в течение 6 ч [2];
2. Фильтрация и сушка при 120 °С в течение 12 ч.
3. Этерификация окисленных нанотрубок уксусной кислотой, пропанолом, изопропанолом и их смесями;
4. Фильтрация, сушка и получение суспензий со спиртом;
5. Ультразвуковая обработка суспензии в течение 1 ч;
6. Нанесение суспензии аэрографом на нагретые, до температуры 65 °С, подложки;
7. Исследование сенсорных свойств по отклику на NO₂ в установке динамического типа, по методу измерения сопротивления при подаче газа-аналита (рисунки 1).

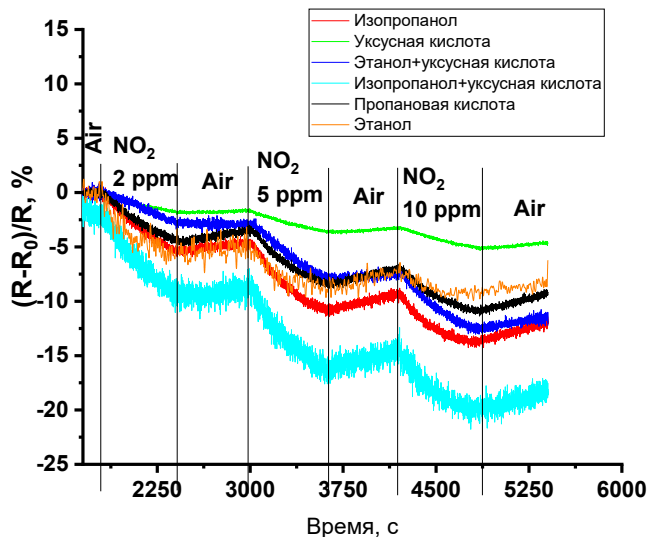


Рис. 1 – Сравнительный анализ сенсорного отклика на NO_2 для УНТ, модифицированных различными сложноэфирными группами

Исходное окисление позволило создать на поверхности нанотрубок необходимые карбоксильные группы, но так как спиртовых групп оказалось недостаточно, прямая этерификация шла недостаточно эффективно. При использовании спиртов с более длинной цепью (пропанол, изопропанол), произошел качественный скачок. Добавление в цепь 2 и 3 атома углерода дало значительно больший эффект по сравнению с уксусной кислотой, вклад которой оказался незначительным. Использование смесей реагентов оказалось более эффективным, чем применение индивидуальных спиртов, наилучшие результаты получились с пропионовой кислотой. Полученные данные свидетельствуют о том, что введение электрон-донорных алкильных групп значительно усиливает взаимодействие поверхности УНТ с молекулами NO_2 . Эффективность этого взаимодействия напрямую зависит от длины углеводородной цепи, чем длиннее цепь, тем лучше отклик.

Окисление формирует кислородсодержащие группы ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$), повышая реакционную способность поверхности. Этерификация изменяет поверхностные свойства МУНТ, увеличивая их электронную проводимость. Алкильные заместители усиливают взаимодействие с молекулами NO_2 , повышая чувствительность сенсора. Количество

атомов углерода при этерификации позволяет получить более эффективный результат по отношению к отклику на NO_2 .

Этерификация окисленных МУНТ-1020 – эффективный способ модификации поверхности и управления их свойствами для применения в газовых сенсорах. Наличие сложноэфирных функциональных групп усиливает адсорбцию и повышает чувствительность к NO_2 . Полученные результаты демонстрируют перспективность данного подхода для разработки высокочувствительных сенсорных материалов на основе функционализированных углеродных нанотрубок.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (код FSUN-2023-0008).

Литература

1. Дьячкова Т. П., Ткачев А. Г. Методы функционализации и модифицирования углеродных нанотрубок. – М.: Издательский дом «Спектр», 2013. – 152 с. – ISBN 978-5-4442-0050-6.

2. Chemical Modification of the Inner Walls of Carbon Nanotubes by HNO_3 Oxidation / T. Kyotani, S. Nakazaki, W.-H. Xu, A. Tomita // Carbon. 2001. V. 39. P. 782– 785.

СИНТЕЗ КАТАЛИЗАТОРА $\text{Fe-Co/Al}_2\text{O}_3$ МЕТОДОМ СООСАЖДЕНИЯ

А. С. Колыванов, Т. С. Гудыма, А. Г. Баннов
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, kolyvanov-03@mail.ru
Научный руководитель: Баннов А.Г., д.х.н, к.т.н., профессор

Исследование посвящено разработке $\text{Fe-Co/Al}_2\text{O}_3$ катализаторов для CO -free конверсии метана с целью получения водорода. Катализаторы синтезированы методом соосаждения гидроксидом натрия в диапазоне $\text{pH} = 7-10$ с последующим прокаливанием. Наибольшую активность в процессе конверсии метана при 750°C показал образец, синтезированный при $\text{pH}=9$ (FCAgn9), с выходом углерода 3.8 г/кат и водорода 0.8 моль/кат . Катализаторы охарактеризованы методами фотоседиментационного и рентгенофазового анализа. Перспективой работы является изучение влияния других осадителей (Na_2CO_3 , NH_4OH) на каталитическую активность.

The study focuses on the development of $\text{Fe-Co/Al}_2\text{O}_3$ catalysts for CO -free methane conversion to produce hydrogen. The catalysts are synthesized using the co-precipitation method with sodium hydroxide at a pH range of 7-10, followed by calcination. The sample synthesized at $\text{pH} = 9$ (FCAgn9) showed the highest activity in the methane conversion process at 750°C , with a carbon yield of 3.8 g/gcat and a

hydrogen yield of 0.8 mol/gcat. The catalysts were characterized using photoseedimentation and X-ray phase analysis. The future work will focus on studying the effect of other precipitants (Na_2CO_3 , NH_4OH) on the catalytic activity.

Разработка эффективных методов конверсии метана и других углеводородных газов представляет высокий интерес для химической технологии в контексте развития водородной энергетики и рационального использования природных ресурсов. Особую значимость приобретают процессы, позволяющие получать водород без образования парникового газа - оксида углерода (CO-free), что исключает необходимость его последующего удаления и упрощает технологическую схему [1].

Наиболее перспективными для такого процесса являются металлические катализаторы, среди которых предпочтение отдается системам на основе железа, благодаря их доступности и высокой каталитической активности.

В данной работе исследуются катализаторы состава Fe-Co/ Al_2O_3 , синтезированные методом соосаждения. Кристаллогидраты нитратов металлов растворялись в дистиллированной воде. В качестве соосадителя использовали гидроксид натрия [2]. Осаждение проводилось при различных значениях pH (7–10 и постоянной температуре 60 °C). Далее полученные образцы прокаливались при 450 °C. в течение 7 часов. Главное преимущество этого метода заключается в возможности точного контроля состава и структуры катализатора, что обеспечивает формирование высокооднородных наночастиц с развитой поверхностью и, как следствие, повышенную стабильность и производительность по сравнению с катализаторами, полученными методом пропитки [3].

Тестирование катализаторов производилось в кварцевом реакторе при атмосферном давлении и температуре 750 °C (углеводородный газ – метан) в течение 6 часов [4]. Наибольший выход углерода и водорода показал катализатор FCAg9, синтезированный при pH = 9. Выходы углерода и водорода составили 3,8 г/г_{кат} и 0,8 моль/г_{кат}, соответственно. Проведены физико-химические испытания полученных катализаторов, такие как: фотоседиментационный анализ и рентгенофазовый анализ.

В дальнейшем планируется провести синтез катализатор с использованием других соосадителей, таких как Na_2CO_3 и NH_4OH , для выявления условий, позволяющих получить наиболее активный катализатор.

Работа была выполнена в рамках проекта Российского научного фонда (№ 24-29-00661).

Литература:

1. Пермяков Е.А., Коган В.М. Каталитическая конверсия изоэлектронных молекул CO и N₂ в присутствии водорода // Успехи химии. – 2023. – Т. 92, № 10. – С. 5094. – doi: 10.59761/RCR5094.
2. Синтез металлических катализаторов Ni-Cu/Al₂O₃ методом “горения растворов” с использованием сахарозы в качестве восстановителя / П.Б. Курмашов, Т.С. Гудыма, В. Головахин, А.В. Ухина, Е.А. Максимовский, А.В. Ищенко, А.Г. Баннов // Химия твердого топлива. – 2025. – №2. – С. 64-73.
3. Ali Akbar Mirzaei, Razeieh Habibpour, Eslam Kashi b. Preparation and optimization of mixed iron cobalt oxide catalysts for conversion of synthesis gas to light olefin // Applied Catalysis A: General. – 2005. – Vol. 296. – P. 222-231. – doi: 10.1016/j.apcata.2005.08.033.
4. Биметаллические кобальтовые катализаторы синтеза углеводородов из CO и H₂ / А.Л. Лапидус, М.В. Цапкина, А.Ю. Крылова, Б.П. Тонконогов // Успехи химии. – 2005. – Т. 74, № 6. – С. 634-645.

ЭКСТРАКЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КОСТРЫ ЛЬНА РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Д. А. Кулешова¹

Руководитель от организации: Авдеенко Е. А.², к.х.н., н.с.

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова
СО РАН, dasha.kuleshova.04@mail.ru

В работе проведено исследование методов экстракции органических соединений из костры льна - отхода переработки льна-долгунца. Выполнено сравнительное изучение эффективности трех методов экстракции: в аппарате Сокслета, методом мацерации при кипячении и мацерации при комнатной температуре с использованием 70% этанола. Установлено, что наибольший выход экстрактивных веществ достигается при мацерации с кипячением в течение 1 часа.

This work presents a study of methods for extracting organic compounds from flax shive - a waste product of long-fiber flax processing. A comparative study of three extraction methods was carried out. It was shown that the highest yield of extractive substances is achieved with maceration with boiling for 1 hour.

Ежегодно в России образуется порядка 110 тысяч тонн отходов лубяной промышленности - костры льна, одревесневшей части стебля [1], причем основная часть этого типа отходов не находит практического применения [2]. Костра льна содержит около 25-40% целлюлозы, 15-25%

лигнина, 20-30% гемицеллюлозы, фитостерины, фенольные соединения и другие биологически-активные вещества [3,4]. Извлечение этих соединений из отходов переработки льна возможно с помощью различных методов экстракции. Органические соединения, такие как лигнин, целлюлоза и гемицеллюлоза и другие, могут быть выделены с помощью органических растворителей (например, этанола, метанола, ацетона). Процесс обычно включает в себя несколько последовательных стадий: подготовка - костра льна измельчается для увеличения поверхности; экстракция - измельченная костра льна взаимодействует с растворителем в заданных условиях, в результате чего растворимые в данном экстрагенте соединения переходят в жидкую фазу; фильтрация - экстракт фильтруется для удаления твердых частиц; концентрирование - экстракт упаривается от избытка растворителя для получения суммы целевых соединений.

Целью настоящей работы является сравнительное исследование эффективности методов экстракции биологически активных веществ из костры льна.

В качестве экстрагента использовался 70 об. % этанол, соотношение сырье/экстрагент составило 1:10. Экстракт костры льна был получен тремя методами:

1. В аппарате Сокслета. Всего провели пять экстракций в аппарате Сокслета с разным количеством циклов.
2. Мацерацией с кипячением. Длительность эксперимента варьировали в пределах 0,5-4 часа.
3. Мацерацией при комнатной температуре. Длительность эксперимента варьировали в пределах 2-24 часа.

После каждой экстракции отбирали аликвоту экстракта на упаривание в вакуумном ротационном испарителе до постоянной массы. Массу сухого остатка определяли гравиметрически.

По результатам проведенных исследований был построен график-обобщение (Рисунок 1), на котором представлена зависимость концентрации растворимых сухих веществ (г/л) от времени проведения экстракции (в случае мацерации при различных температурах) или количества циклов (в случае проведения процесса в аппарате Сокслета).

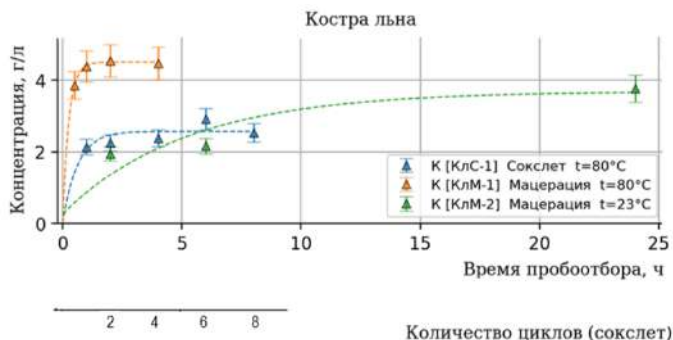


Рис. 1 – Зависимость концентрации растворимых сухих веществ (г/л) от времени проведения экстракции (в случае мацерации при различных температурах) или количества циклов (в случае проведения процесса в аппарате Сокслета)

Из полученных данных видно, что увеличение длительности экстракции оказывает влияние на выход экстрактивных веществ в растворитель, при этом достигается насыщение экстрагента экстрактивными в течение 1 часа в случае мацерации при кипячении, в течение 24 – при мацерации при комнатной температуре и для 2 циклов – при экстракции в аппарате Сокслета.

Наибольшее извлечение органических соединений наблюдается при проведении процесса при мацерации при кипячении (80°C), их концентрация в экстракте достигает 4,4 г/л, в то время как при мацерации при комнатной температуре или в аппарате Сокслета предельная экстрактивность не превышает 3,8 и 2,7 г/л соответственно. Это может быть связано с тем, что контакт фаз костры льна с экстрагентом при мацерации больше, а кипячение ускоряет время извлечения веществ и растворимость их в горячем растворителе лучше, чем в экстрагенте при комнатной температуре. Извлечение веществ из костры льна при мацерации с кипячением получается более полным.

Таким образом, результаты значимы для разработки технологий переработки льняной костры с целью получения биологически активных соединений.

Литература:

1. Угрюмов С. А. и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2006. - № 14. - С. 171-172.
2. Живетин В. В. и др. Лен и его комплексное использование. - М., 2002. - 400 с.

3. Корчагина А. А. и др. // Известия вузов. Прикл. химия и биотехн. - 2023. - Т.13. - №4. - С. 621-630.

4. Воскресенский П. И. Техника лабораторных работ. - М.: Химия, 1973. - 717 с.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ТЕХНОЛОГИЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ И МИКРОСТРУКТУРОЙ МИКРОТРУБЧАТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА ЛАНТАНА

Е. Д. Лаптев^{1,2}, О. В. Черендина², Е. В. Шубникова²

Новосибирский государственный технический университет,

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

г. Новосибирск, kmree@mail.ru

Научный руководитель: к.х.н., с.н.с., О. А. Брагина

В работе исследовано влияние способа получения (фазовая инверсия, метод погружения) и технологических параметров на формирование микроструктуры мембран $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.2}\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (LSBFCN).

This work investigated the influence of the fabrication method (phase inversion, dip-coating) and technological parameters on the microstructure of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.2}\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (LSBFCN) hollow fiber membranes.

Каталитические мембранные реакторы (КМР) на основе оксидов со смешанной кислород-электронной проводимостью привлекают большое внимание в связи с возможностью проведения сепарации кислорода и химической реакции конверсии углеводородов в одной мембранной установке. Для достижения максимальной эффективности мембрана должна обладать асимметричной структурой: тонким газоплотным слоем, отвечающим за селективный транспорт кислорода, и пористым слоем, обеспечивающим механическую прочность [1, 2]. Целью работы является сравнительное исследование влияния способа получения (фазовая инверсия, метод погружения) микротрубчатых мембран и технологических параметров (скорость вытягивания, температура спекания) их изготовления на микроструктуру получаемых мембран.

Для достижения поставленной цели был синтезирован оксид $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.2}\text{Ba}_{0.2}\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (LSBFCN), на основе которого готовилась суспензия. Микротрубчатые мембраны были сформированы двумя методами: фазовой инверсией (экструзия суспензии в водный коагулянт) и погружением (нанесение суспензии на стержень-носитель с последующей коагуляцией в воде). При методе погружения выполнено варьирование скорости вытягивания в диапазоне 30-150 мм/мин.

Спекание микротрубчатых мембран, полученных методом погружения, осуществлялось при температурах $T=1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1370\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $1380\text{ }^{\circ}\text{C}$, и при $T=1370\text{ }^{\circ}\text{C}$ для мембран, полученных фазовой инверсией. Анализ микроструктуры и морфологии спеченных мембран проводили с помощью метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе Hitachi TM-1000.

По данным СЭМ, микротрубчатые мембраны, изготовленные двумя методами, обладают характерной асимметричной микроструктурой. Стенка мембраны, полученная методом погружения, состоит из внутреннего газоплотного и внешнего пористого слоя, формирующегося на границе «суспензия-вода». Мембраны, изготовленные методом фазовой инверсии, характеризуются наличием пористых слоев с внешней и внутренней поверхности и тонким газоплотным слоем в центре (рисунок 1).

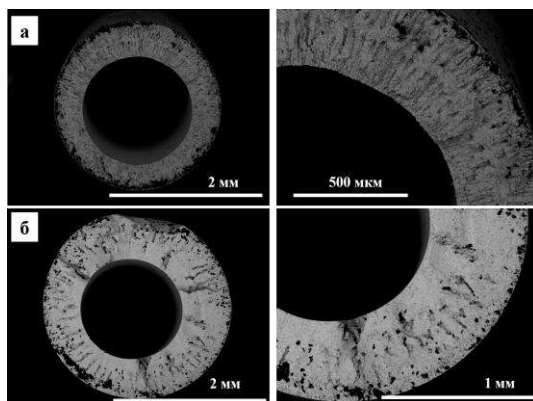


Рис. 1 – Микрофотографии МТ мембран (поперечный срез), полученных (а) методом фазовой инверсии (1370), (б) методом погружения (1350)

Параметры усадки мембран, рассчитанные измерением внешнего диаметра до и после спекания, составили 31 (2) и 27 (3) % для мембран, полученных методом фазовой инверсии и погружения, соответственно. Близкие значения усадки при различной микроструктуре сформировавшейся стенки мембраны показывают, что ее величина в первую очередь определяется составом суспензии, тогда как способ получения в большей степени влияет на распределение пористых и газоплотных слоев по толщине микротрубчатой мембраны.

Для контролируемого управления микроструктурой микротрубчатых мембран, получаемых методом погружения, было проведено варьирование скорости вытягивания из суспензии. Установлено, что

данный параметр является одним из ключевых технологических факторов: его увеличение от 30 до 150 мм/мин приводит к росту толщины газоплотного слоя в диапазоне от ~0.07 мм до ~0.19 мм, что позволяет целенаправленно управлять структурой микротрубчатой мембраны.

Таким образом, в ходе работы проведено сравнение микротрубчатых мембран LSBFCN, изготовленных методом фазовой инверсии и методом погружения. Показано, что оба способа формируют асимметричную структуру при близких значениях параметра усадки. Метод погружения обеспечивает формирование газоплотного слоя на внутренней поверхности мембраны и дает возможность управлять его толщиной за счет выбора скорости вытягивания из суспензии. Метод фазовой инверсии при использовании воды в качестве внутреннего и внешнего коагулянта позволяет получать микротрубчатые мембраны с газоплотным центральным слоем, расположенным между двумя пористыми слоями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН FWUS-2025-0002.

Литература:

1. Dense ceramic oxygen permeable membranes and catalytic membrane reactors / Y. Wei, W. Yang, J. Caro, H. Wang // Chem. Eng. J. (c). – 2013. – Vol. 220. – P. 185–203. – doi: 10.1016/j.cej.2013.01.048
2. La_{0.7}Sr_{0.3}FeO_{3-α} perovskite hollow fiber membranes for oxygen permeation and methane conversion / X. Tan, L. Shi, G. Hao, B. Meng, S. Liu // Sep. Purif. Technol. (c). – 2012. – Vol. 96. – P. 89–97. – doi: 10.1016/j.seppur.2012.05.012.

КОМПОЗИТЫ Zn_{0.7}Cu_{0.3}Sn(OH)₆ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

А. А. Лаптинов, А. И. Апарнев, А. В. Логинов

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, horsent2112@gmail.com

Научный руководитель: Апарнев А. И., к.х.н., доцент

Вольтамперометрическим методом исследована удельная емкость станната цинка, допированного медью (Zn_{0.7}Cu_{0.3}Sn(OH)₆), и его композита с модифицированным углеродным материалом (НВУ). Установлено, что введение НВУ в состав материала увеличивает его удельную емкость в 10 раз, что делает композит перспективным для применения в электродах и хранения энергии.

The specific capacity of zinc stannate doped with copper ($Zn_{0.7}Cu_{0.3}Sn(OH)_6$) and its composite with modified carbon material (NBU) has been studied using the voltammetric method. It has been established that the introduction of NBU into the material increases its specific capacity by a factor of 10, making the composite a promising candidate for use in electrodes and energy storage applications.

Гексагидроксостаннаты с общей формулой $MSn(OH)_6$ ($M = Cu, Zn, Cd, Mn, Fe, Co, Ni, Mg, Ca, Sr, Ba$ и др.), вызывают повышенный интерес у исследователей [1, 2]. Данные соединения обладают перовскитной структурой и находят широкое применение в газочувствительных сенсорах [3], в качестве электродных материалов для аккумуляторов, суперконденсаторов и автономных источников питания [4].

Для синтеза гексагидроксостаннатов металлов используют различные методы: гидротермальный, золь-гель синтез, метод соосаждения и др. Метод синтеза выбирается, исходя из желаемых характеристик продукта, которые достигаются возможностью контроля размера и формы частиц.

Среди многочисленных гидроксостаннатов в суперконденсаторах, батареях, солнечных элементах, биосенсорах, катализаторах и газовых сенсорах нашли применение смешанные гидроксиды цинка, меди и олова (IV) [2, 3, 5]. С целью улучшения электрохимических характеристик указанных соединений разрабатываются композиты с добавками углеродных материалов.

В рамках представленной работы была изучена возможность применения соединения $Zn_{0.7}Cu_{0.3}Sn(OH)_6$ и композита на его основе с модифицированным нановолокнистым углеродом (НВУ) в качестве перспективного материала для изготовления электродов, предназначенных для устройств накопления электрической энергии.

$Zn_{0.7}Cu_{0.3}Sn(OH)_6$ был получен гидротермальным методом из солянокислых растворов солей металлов с добавлением 1 М раствора гидроксида натрия до pH = 10.

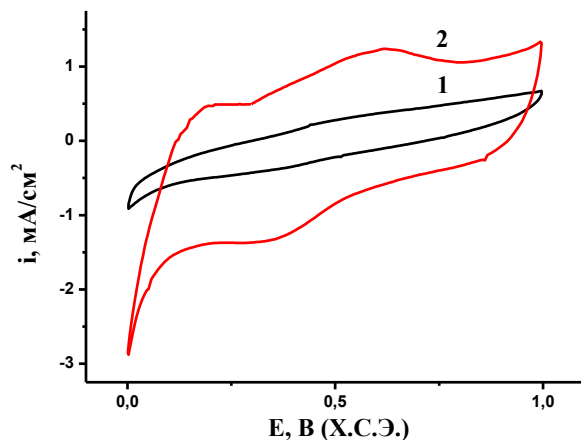


Рис. - Вольтамперные кривые, измеренные на электродах, изготовленных из гидроксоанната цинка допированного медью (1) и композита с модифицированный НВУ (2), в растворе 2 Н серной кислоты

На рисунке представлены вольтамперные кривые, измеренные при скорости развертки 2 мВ/с для образцов, полученного гидротермальным методом с допированием медью (1) и композита на его основе с модифицированным НВУ (2). Как видно из рис. (кривая 1), электрохимическая активность полученного образца низкая и удельная емкость составила порядка 9 Ф/г.

Для улучшения электропроводности синтезированного материала в композит вводили модифицированный НВУ. Из данных рисунка (кривая 2) видно, что это приводит к увеличению плотности тока в исследуемой области потенциалов и увеличению емкости материала до 96 Ф/г.

Таким образом, уникальное сочетание структурных и физико-химических свойств исследованных гидроксистаннатов вызывает большой интерес, что открывает перспективы для создания новых функциональных материалов с превосходящими характеристиками.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки (проект FSUN-2023-0008).

Литература:

1. Study of thermal decomposition of hexahydroxostannates(IV) MSn(OH)_6 , (M = Mg, Sr, Ca) / A.V. Loginov, A.I. Aparnev, N.F. Uvarov //

Materials today: proceedings. – 2020. – Vol. 25. – P. 477–479.
doi:10.1016/j.matpr.2019.12.242

2. Hydrothermal synthesis of $\text{MSn}(\text{OH})_6$ ($\text{M}=\text{Co}, \text{Cu}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Zn}$) and their photocatalytic activity for the destruction of gaseous benzene / Huang D, Fu X, Long J, Jiang X, Chang L, Meng S, Chen S. // Chemical Engineering Journal. – 2015. – Vol. 269. – P. 168–179. – doi:10.1016/j.cej.2015.01.133

3. The impact of Zn vacancy on gas sensitivity of $\text{ZnSn}(\text{OH})_6$ / Fangqiang Yuan, Shuyi Ma, Yufeng Wen // Applied Surface Science. – 2023. – Vol. 614. – P. 156058. – doi:10.1016/j.apsusc.2022.156058

4. Rapid in-situ fabrication of MnSnO_3 perovskite-based nanocomposites via microwave-assisted approach for supercapacitor devices / Sahoo S, Sood A, Kumar R, Milton A, Choi S, Jo Y, Hussain I, Han S. // Journal of Energy Storage. – 2025. – Vol. 110. – P. 115368. – doi:10.1016/j.est.2025.115368

5. Современное состояние исследований в области синтеза и применения станната цинка / Налимова С.С., Максимов А.И., Матюшкин Л.Б., Мошников В.А. // Физика и химия стекла. – 2019. – № 45. – С. 311. – doi:10.1134/S0132665119040097.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ МЕДЬ-НИКЕЛЬ

В. А. Лейрих^{1,2}, А. И. Титков², О. А. Логутенко²

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, leyrihva@mail.ru

²Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск

Научный руководитель: Титков А. И., к.х.н., с.н.с

Биметаллические наночастицы медь-никель синтезированы совместным восстановлением каприлатов меди и никеля в бензиловом спирте. Полученные наночастицы охарактеризованы методами рентгенофазового анализа, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией. Исследовано влияние фазового состава сплавов на устойчивость полученных частиц к окислению. Показано, что увеличение содержания никеля в сплавах приводит к уменьшению степени окисления наночастиц.

Bimetallic copper-nickel nanoparticles were synthesized by chemical reduction of a mixture of copper and nickel caprylates in benzyl alcohol at 195 °C. The resulting nanoparticles were characterized by X-ray diffraction analysis, scanning and transmission electron microscopy, and energy-dispersive X-ray spectroscopy. The effect of the alloy phase composition on the oxidation stability of the resulting particles

was studied. Increasing the nickel content in the alloys was shown to decrease the degree of oxidation of the nanoparticles.

Магнитные наночастицы вызывают большой интерес благодаря своим уникальным магнитным, электронным, каталитическим, оптическим и химическим свойствам. Так как они обладают чрезвычайно малыми размерами и большой площадью поверхности, их применяют в катализе, создании электронных и механических устройств, в качестве магнитных уплотнений в двигателях, а также биомедицине. Особый интерес представляют исследования биметаллических магнитных наночастиц на основе никеля и меди, так как они обладают высокой химической стабильностью, биосовместимостью, а также возможностью варьировать магнитные свойства при помощи изменения условий синтеза [1].

Наиболее распространен полиольный метод получения металлических наночастиц, который заключается в восстановлении органических и неорганических солей металлов в среде полиола при повышенной температуре. Кроме алифатических полиолов (глицерин, этиленгликоль), бензиловый спирт также используется для получения металлических наночастиц благодаря высокому восстановительному потенциалу. Достоинством полиольного метода является возможность контролировать форму, состав, размер наночастиц.

Целью работы является получение биметаллических Cu-Ni наночастиц восстановлением смеси каприлатов меди и никеля в бензиловом спирте, исследование их фазового состава и структуры.

Методом рентгенофазового анализа исследован процесс восстановления каприлатов меди, никеля, а также их смеси в бензиловом спирте. Как видно из рис. 1, на рентгенограммах продуктов, полученных восстановлением каприлата меди и никеля, присутствуют полосы при $2\theta = 43.3, 50.4$ и 74.2° и при $2\theta = 44.5^\circ, 51.98^\circ$ и 76.4° , соответствующие кристаллическим плоскостям (111), (200) и (220) гранецентрированной кубической (ГЦК) структуры металлической меди и металлического никеля соответственно. На дифрактограмме образца, полученного при массовом соотношении Cu-Ni 1:1 (рис. 1, кривая 3), в области углов 2θ от 30° до 100° также наблюдаются рефлексы, характерные для гранецентрированной кубической решетки. При этом можно отметить выраженную асимметрию дифракционных пиков, что указывает на наличие в образце нескольких фаз. Определение параметров элементарной ячейки обеих фаз показало, что одна из них практически совпадает по параметрам с чистой медью ($a_{\text{Cu}} = 3.6150 \text{ \AA}$), а другая имеет параметры решетки, близкие к чистому никелю ($a_{\text{Ni}} = 3.5224 \text{ \AA}$).

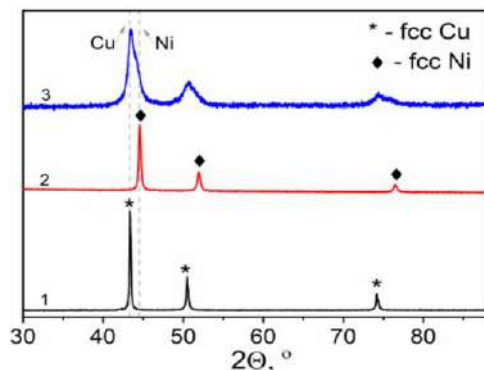


Рис. 1 – Рентгенограммы частиц меди (1), никеля (2) и биметаллических частиц медь-никель (3), полученных восстановлением каприлатов бензиловым спиртом. 3 – Cu:Ni = 1:1. T = 195°C

Методом сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии исследована морфология полученных частиц. Показано (рис. 2), что частицы меди обладают сферической формой, узким распределением по размеру, а их размер варьируется от 20 до 35 нм. Размер частиц никеля, полученных при восстановлении каприлата никеля в бензиловом спирте составляет 250–350 нм, а вычисленные значения блоков когерентного рассеяния меди и никеля равны 14.4 ± 0.2 и 25.1 ± 1.2 нм соответственно. Таким образом, частицы меди и никеля, полученные в данных условиях, являются поликристаллическими, с соответствующими размерами кристаллитов. Форма биметаллических частиц медь-никель, как и наночастиц элементарной меди, является сферической, они тоже монодисперсны, а их размер меняется от 20 до 30 нм. Стоит отметить, что при массовом соотношении Cu:Ni 1:2 (рис. 2, г), кроме сферических, образуются частицы треугольной и шестиугольной формы со средним размером 20–40 нм.

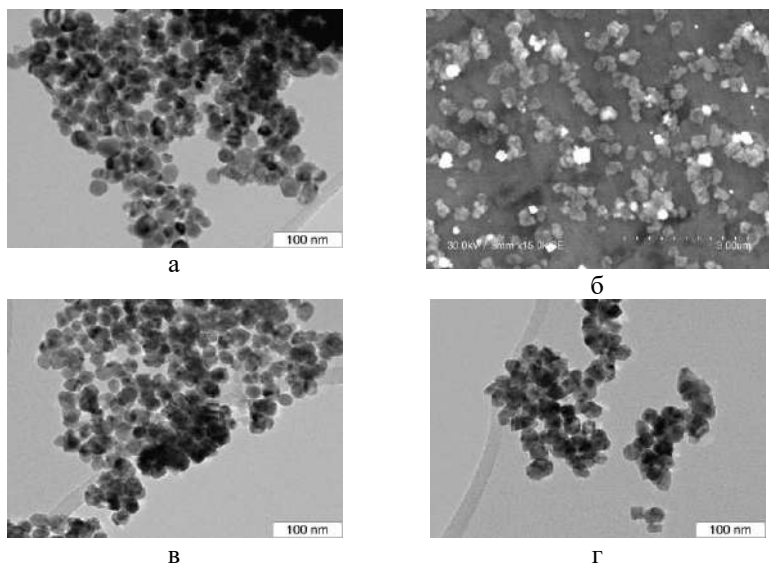


Рис. 2 – Микроснимки порошков, полученных в результате восстановления каприлатов меди (а), никеля (б) и их смеси бензиловым спиртом при 195°C. Cu:Ni = 1:1 (в) и 1:2 (г)

Согласно данным рентгенофазового анализа (рис. 3), образцы, полученные совместным восстановлением каприлатов меди и никеля в бензиловом спирте при их различном массовом соотношении, представляют собой двухфазные системы, состоящие из двух взаимных твердых растворов с различающимися соотношениями меди и никеля. Как видно из рентгенограмм, дифракционные рефлексы полученных образцов заметно уширены, что свидетельствует о малом размере кристаллитов, в результате чего практически все рефлексы ГЦК-структуры обоих растворов заметно перекрываются. С ростом массовой доли никеля в образцах их дифракционные максимумы становятся более асимметричными и смещаются в область больших углов 2θ относительно рефлексов чистой меди, что указывает на уменьшение параметров решётки за счет внедрения атомов никеля в ГЦК-структуру меди.

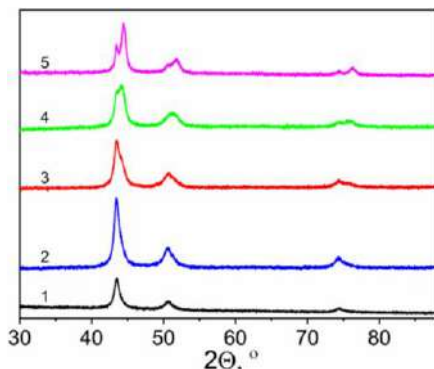


Рис. 3 – Рентгенограммы продуктов совместного восстановления каприлатов меди и никеля бензиловым спиртом при различном массовом соотношении металлов. Cu:Ni = 3:1 (1), 2:1 (2), 1:1 (3), 1:2 (4) и 1:3 (5). $T = 195^\circ\text{C}$

Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии показано, что с увеличением массового содержания никеля устойчивость полученных частиц к окислению растёт.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТМ СО РАН (проект № 122032900069-8).

Литература:

1. Ban. NiCu magnetic nanoparticles: review of synthesis methods, surface functionalization approaches, and biomedical applications. / Irena Ban, Janja Stergar and Uroš Maver // Nanotechnology Review. – 2018. - Vol. 7 (2). – P. 187–207.

ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН И ДИХАЛЬКОГЕНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

А. Д. Лозбень¹, А. А. Шишин¹, К. А. Кох², А. Г. Баннов¹

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, arina_lozben@mail.ru.

²Институт геологии и минералогии имени В. С. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук
Научный руководитель: Баннов А. Г., д.х.н., доцент

Работа содержит информацию о чувствительности хеморезистивных газовых сенсоров, изготовленных на основе дихалькогенидов переходных металлов и углеродных нановолокон, при контакте с NO₂. Исследовано взаимное влияние дихалькогенидов и углеродных нановолокон на работу газовых сенсоров.

The work presents data on the sensitivity of chemoresistive gas sensors fabricated from transition metal dichalcogenides and carbon nanofibers upon exposure to NO₂. The mutual influence of the dichalcogenides and carbon nanofibers on the sensor performance has been investigated.

В последние годы в газовой сенсорике все больше уделяется внимание созданию и разработке хеморезистивных газовых датчиков, принцип работы которых основан на изменении электропроводности материалов при их контакте с анализируемым газом. Наиболее перспективными материалами для их создания являются дихалькогениды переходных металлов (ДПМ) и углеродные наноматериалы, такие как графен и его производные [1-2], которые работают при комнатной температуре, что отличает их от аналогичных сенсоров на основе наночастиц оксидов металлов.

В данной работе для создания чувствительного слоя использовались дихалькогениды вольфрама (WS₂, WTe₂, WSe₂) и молибдена (MoTe₂, MoS₂, MoSe₂) и углеродные нановолокна (УНВ), полученные методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) на никель-медном катализаторе. Нанесение материалов производилось путем аэрографического напыления суспензии на текстолитовую подложку с медными контактами. Для изготовления суспензии были взяты навески материалов ($m=0,015$ г) с последующим их диспергированием в этаноле ($V=10$ мл) в течение 60 минут. Подобным образом были изготовлены сенсоры из чистых материалов и их композитов (ДХМ:УНВ = 1:1).

Испытание сенсоров проводилось на установке динамического типа с двухточечным методом измерения сопротивления. Полученные данные были обработаны и использованы для

построения зависимости изменения относительного отклика ($\frac{\Delta R}{R_0}$) от времени (рис. 1).

Относительный отклик ($\Delta R/R_0$) находили по формуле:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot 100\%,$$

где R_0 – начальное электрическое сопротивление при воздействии газ-носителя (воздуха), Ом; R – электрическое сопротивление сенсора при воздействии анализируемого газа, Ом.

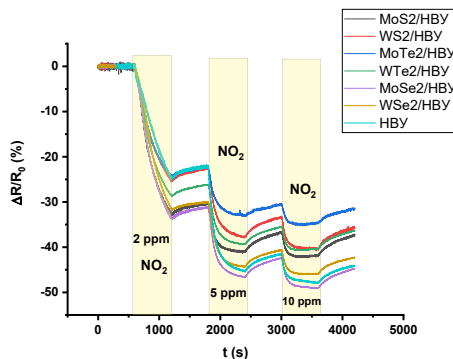


Рис. 1 – Относительная чувствительность сенсоров на базе ДПМ и НВУ при концентрации $\text{NO}_2 = 2 \dots 10$ ppm (25 °C)

Сенсоры на основе чистых дихалькогенидов не показали положительного отклика на анализируемый газ. Однако использование дихалькогенидов в качестве добавки к НВУ привело к достижению

$\frac{\Delta R}{R_0} = 33\%$, что выше значений, выдаваемых сенсором из чистых НВУ при концентрации NO_2 2 ppm. В результате был сделан вывод о непосредственном синергетическом эффекте между дихалькогенидами и НВУ, который приводит к усилению хеморезистивных свойств газовых сенсоров при детектировании NO_2 .

Работа была выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки (FSUN-2023-0008).

Литература:

1. Fu X.; Qiao Z.; Zhou H.; Xie D. Defect Engineering in Transition Metal Dichalcogenide-Based Gas Sensors. *Chemosensors*. 2024. Vol.12, iss.6.
2. Carbon Nanofibers Synthesized at Different Pressures for Detection of NO_2 at Room Temperature / Nikita I. Lapekin [et al.] // *Chemosensors*. 2023. Vol. 11, iss. 7.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ БИТУМНЫХ СОСТАВОВ

А. А. Микрюков, М. В. Дюльдина

Самарский государственный технический университет,
г. Самара, kr1nt7@yandex.ru

Научный руководитель: Дюльдина М. В., к.т.н., доцент

В Самарской области остро стоит проблема загрязнения окружающей среды отходами, в частности, автомобильными шинами. Кроме того, имеется проблема долговечности дорожного покрытия, качество которого не может сохраняться в течение длительного времени. Целью работы является комплексная оценка влияния резиновой крошки на физико-химические и реологические свойства битума, а также на св-ва асфальтобетона. Модификация битума позволяет существенно улучшить трещиностойкость, сопротивление колейности и пр.

The Samara Region faces a pressing environmental problem, particularly car tires. Furthermore, there's the issue of road surface durability, which cannot be maintained over time. The aim of this study is to comprehensively assess the impact of rubber crumb on the physicochemical and rheological properties of bitumen, as well as on the properties of asphalt concrete. Modification of bitumen can significantly improve crack resistance, rutting resistance, and other properties.

В настоящее время основным способом утилизации изношенных автомобильных шин является захоронение на специальных полигонах [1]. Выброшенные шины занимают огромные площади и не разлагаются сотни лет. При сжигании выделяют в атмосферу черный дым с канцерогенными диоксинами и другими ядовитыми веществами. Наиболее перспективным способом переработки изношенных и пришедших в негодность шин является рециклинг. Использование резиновой крошки в битумных дорожных составах обусловлена комплексом экологических, экономических и технических преимуществ.

Применение резиновой крошки в битумных дорожных составах позволит перерабатывать миллионы шин ежегодно, предотвращая их попадание на свалки. Данная технология позволит превратить отходы в ценный ресурс, что является примером экономики замкнутого цикла.

Введение в битумный состав резиновой крошки кардинально меняет свойства битума, и, как следствие, всего дорожного полотна.

В данной работе разработан битумный состав на основе отечественного битума с добавлением резиновой крошки.

Процесс приготовления битумного состава состоит из следующих операций:

1. Растворение резиновой крошки при температуре 150°C в течение 30 минут при постепенном перемешивании компонентов;
2. Введение определенного количества полимера от битумной массы, а именно 10-15% от массы битума, так как при таком проценте полимера свойства получаются оптимальными;
3. Смешивание компонентов с помощью лабораторного оборудования (1).

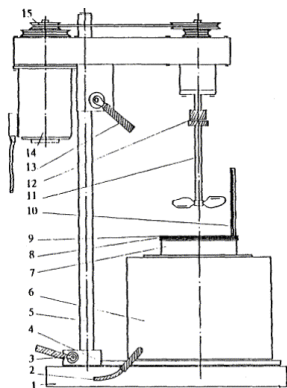


Рис. 1 – Лабораторный смеситель для приготовления образцов модифицированного битума

- 1 - станина; 2 - кабель питания нагревателя; 3 - зажим стола; 4 - стол; 5 - стойка; 6 - нагреватель; 7 - рабочий сосуд; 8 - стабилизатор; 9 - разрезная крышка; 10 - термометр; 11 - мешалка; 12 - зажим крепления рабочего органа; 13 - зажим крепления привода; 14 - электродвигатель; 15 - клиноременная передача

Полученный состав заливали в формы и оставляли до полного затвердевания. Далее получали образцы для последующих испытаний. Для физико-механических испытаний путем вырубки получали образцы в виде лопаток в соответствии с ГОСТ 11505-75, ГОСТ 33138-2014 в условиях учебной лаборатории [3,4].

Результаты испытаний показали, что полученный битумный состав, модифицированный резиновой крошкой, по своим характеристикам (эластичность, устойчивость к трещинам, диапазон температур и др.), превосходит битумные составы, не использующие полимерные добавки. Так, например, образец с добавкой может растягиваться на 35% лучше, с учетом сохранения структуры, в сравнении со стандартным битумом.

Таким образом, применение модифицированного битумного состава для дорожных покрытий позволит повысить стойкость к

трещинообразованию дорожного покрытия за счет повышения эластичности материала; улучшить сцепление шин с дорогой и безопасность; снизить шум за счет поглощения звука пористой структурой резино-битумного состава; устойчивость к перепадам температур.

Литература:

1. Соколов Л. И. Сбор и переработка твердых коммунальных отходов // Издательство "Инфра-Инженерия" - 2018 г. 176 с.
2. Тематическая подборка: Приготовление и применение полимерно-битумного вяжущего // Информационный центр по автомобильным дорогам. - Москва., 1997.- 53 с.
3. ГОСТ 11505-75 - 1975. Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости. // Принят постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР № 4072. – Москва, 1975. – 4 с.
4. ГОСТ 33138 - 2014. Дороги общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения растяжимости. // Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации. – Москва, 2014. – 13 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПРЯМОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ АРОМАТИЧЕСКИЕ СПИРТЫ

Е. М. Турло, И. Ю. Миллер

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Турло Е. М., к.п.н.

Рассматривается технология непрямого электрохимического окисления, которая реализуется в коаксиальном бездиафрагменном коаксиальном электролизере. В работе исследует подбор условий для глубокой очистки сточных вод на примере 1,3-дигидроксибензола.

This paper examines indirect electrochemical oxidation technology implemented in a diaphragmless coaxial electrolyzer. The paper explores the selection of conditions for deep wastewater treatment using 1,3-dihydroxybenzene as an example.

Сегодня перед производителями остро стоит задача повышения эффективности очистки сточных вод. Особенную сложность вызывает удаление стойких органических загрязнителей, обладающих карбоциклическими структурами, такими как фенольные соединения, синтетические красители, отдельные поверхностно-активные вещества и

лекарственные препараты. Эти компоненты устойчивы к биологическому разложению, которое традиционно используется для очищения стоков благодаря своей доступности и экономичности. Для решения проблемы применяются альтернативные подходы, одним из которых выступают современные окислительные процессы, включающие создание сильных окислителей и свободных радикалов различными методами активации. Среди них выделяется не прямое электрохимическое окисление, в процессе которого на электродах формируются активные формы кислорода, такие как гидроксил-радикалы и пероксид водорода, способные разрушать органику до безвредных компонентов – диоксида углерода и воды [1].

Электрохимическое окисление представляет собой перспективный Прямой контакт реагентов с анодом зачастую сопровождается образованием трудноразлагаемых побочных продуктов, снижая эффективность очистки. Применение непрямого электрохимического окисления решает данную проблему путём введения окислительных агентов, генерируемых непосредственно в реакционной среде. Метод отличается низкой энергозатратностью и возможностью полной минерализации загрязняющих веществ до воды и углекислого газа. Однако скорость реакции зависит от ряда факторов, среди которых наиболее значимы сила тока, природа электролита, температура среды и материал электрода. Перспективным представляется использование мембранных проточных реакторов, позволяющих интенсифицировать процесс и повысить производительность установок. Особое внимание уделяется оптимизации условий электролиза для достижения максимального выхода полезных продуктов и снижения потерь энергии. Важно отметить экологичность метода, поскольку отсутствуют токсичные отходы и необходимость дополнительной очистки стоков. Полученные знания открывают широкие перспективы для широкого внедрения технологии в очистительные сооружения промышленных предприятий [2].

Целью данной работы является исследование технологии непрямого электрохимического окисления сточных вод, содержащих ароматические спирты, в бездиафрагменном коаксиальном электролизере.

Для проведения экспериментов использовалась установка, состоящая из высокоомного источника постоянного тока Mastech HY10010E и стеклянной электрохимической ячейки. Катод представлял собой прямоугольную пластинку из нержавеющей стали марки 04X18H10 с площадью поверхности 2 см^2 , анодом служила сетка из титана, покрытого диоксидом свинца, с площадью поверхности около 20 см^2 . Схема установки представлена на рисунке 1.

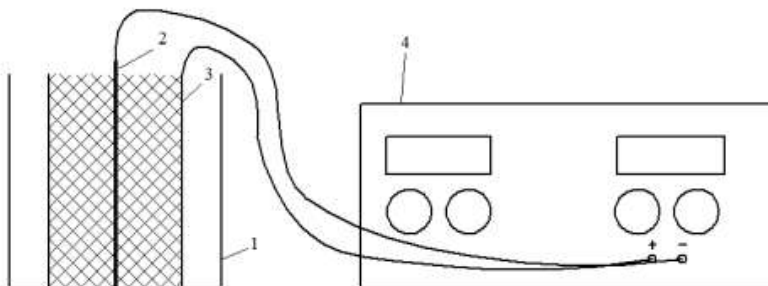


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки: 1- корпус ячейки, 2-катод, 3-анод, 4-источник тока

Для определения оптимальных параметров процесса был проведен ряд экспериментов, в которых варьировалась плотность тока на катоде, концентрация сопутствующего электролита (роль которого играл NaOH) и концентрация 1,3-дигидроксibenзола. Плотность тока изменяли в диапазоне от 900 до 15000 А/м², концентрацию гидроксида натрия изменяли в диапазоне от 0,001 до 0,1 моль/л, концентрацию 1,3-дигидроксibenзола изменяли в диапазоне от 0,125 до 1 ммоль/л.

Химическое потребление кислорода (ХПК) является показателем содержания органических веществ в воде и выражается в миллиграммах кислорода или другого окислителя в пересчете на кислород, затраченного на окисление органических веществ, содержащихся в 1 л воды. Наиболее близко к теоретическому значению ХПК, полученное при использовании метода бихроматной окисляемости. Для определения ХПК использовали стационарный анализатор.

Для подтверждения удаления органических веществ из раствора и качественного определения образующихся в ходе окисления промежуточных продуктов в спектрофотометре СФ-2000.

Было установлено, что степень деструкции 1,3-дигидроксibenзола возрастает с увеличением катодной плотности тока и времени проведения процесса, снижается при увеличении концентрации электролита – гидроксида натрия. Установлены оптимальные параметры процесса: время электролиза 3 ч, плотность тока 10 кА/м², концентрация NaOH 0,01 моль/л. УФ-спектрометрия показала, что в ходе окисления в растворе образуются бензохиноны, которые затем окисляются до более простых веществ – предположительно, карбоновых кислот.

Литература:

1. Корниенко В. Л., Колягин Г. А., Салтыков Ю. В. Электросинтез в гидрофобизированных электродах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 170 с.
2. Влияние электрохимического воздействия на деструкцию органических соединений. Харламова Т.А., Алафердов А.Ф., Маслова О.В. // Kimya Problemleri. – 2016. – № 3 (14). – С. 244-270.

МИКРОСТРУКТУРА, СОСТАВ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ МАГНИТОВ НА ОСНОВЕ СПЛАВА НЕОДИМ- ЖЕЛЕЗО-БОР

К. А. Мустафина¹, О. Н. Новгородцева¹

¹Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, kseniyatum@yandex.ru

Научный руководитель: Новгородцева О. Н., к.х.н.

Рассмотрена проблема низкой коррозионной стойкости магнитов Nd-Fe-B, обусловленная их сложным фазовым составом. Проанализированы механизмы межкристаллитной коррозии и водородного охрупчивания. Показана эффективность применения многослойных покрытий для защиты материала в эксплуатационных условиях.

The problem of the low corrosion resistance of Nd-Fe-B magnets, caused by their complex phase composition, is considered. The mechanisms of intergranular corrosion and hydrogen embrittlement are analyzed. The effectiveness of using multilayer coatings to protect the material under operational conditions is demonstrated.

Материал магнитов представляет собой спеченный сплав системы неодим-железо-бор (Nd-Fe-B) с химической формулой основной магнитной фазы Nd₂Fe₁₄B. Состав сплава, в общем виде включает (% мас.): Nd (31), Dy (1.5-4), В (1), Co (1), Cu (0.1), Al (0.4), Ga (0.2), Fe – остальное. Важной особенностью является то, что неодим часто присутствует в смеси с празеодимом (Pr) [1].

Микроструктура материала является многофазной и неоднородной. Для достижения высоких магнитных свойств используется технология «двойного сплава», включающая базовый сплав (близкий к Nd₂Fe₁₄B) и легкоплавкую добавку, обогащенную неодимом [2]. В качестве жидкофазной составляющей выступает тройная эвтектика – обогащенная неодимом фаза (когда речь идет о магнитах системы Nd-Fe-B). В работе показано, что наблюдаются два пика скорости усадки. Первый пик (при 700°C) обусловлен расплавлением обогащенной неодимом фазы (T_{пл}=655°C). В этой области температур происходят процессы

перегруппировки, а также диффузионные процессы растворения–пересадки, ответственные за высокую скорость усадки. Второй пик (в диапазоне 950–1000°C) объясняют сильным ростом зерна основной магнитной фазы. Для магнитных материалов системы Nd-Fe-B суммарная усадка при спекании может достигать от 10 до 16,5%, что при жидкофазном механизме в структуре материала формирует закрытую пористость. В микроструктуре наблюдаются обогащенные неодимом пленки по границам зерен основной фазы, поры, включения оксидов, а также возможны межкристаллитные микротрещины [3].

Низкая коррозионная стойкость спеченного материала Nd-Fe-B определяется совокупностью факторов, связанных с его химическим составом и микроструктурой. Основные причины коррозионной деградации включают:

Электрохимическую неоднородность. Наличие в микроструктуре фаз с различными электрохимическими потенциалами (основная фаза $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, обогащенная редкоземельными элементами границная фаза, включения оксидов) приводит к формированию локальных гальванических пар. При контакте с электролитом обогащенная неодимом фаза выступает в качестве анода.

Высокую химическую активность редкоземельных элементов. Коррозия развивается преимущественно по границам зерен, где происходит анодное окисление неодима с образованием Nd_2O_3 . Этот процесс приводит к ослаблению связей в структуре и последующему разрушению основной магнитной фазы. Скорость коррозии значительно возрастает в присутствии влаги и хлорид-ионов, которые разрушают формирующиеся на поверхности оксидные пленки.

Склонность к водородному охрупчиванию. Материал обладает высокой способностью к поглощению водорода, образующегося в ходе коррозионных процессов. Внедрение водорода в кристаллическую решетку и его сегрегация на дефектах структуры (границы зерен, поры) снижают пластичность и способствуют хрупкому разрушению [4].

В связи с низкой собственной стойкостью, для эксплуатации магнитов в большинстве условий требуется нанесение защитных покрытий. Для оценки коррозионной стойкости применяется ускоренный тест HAST ($130 \pm 2^\circ\text{C}$, 95% отн. влажности, 2.7–3.0 атм, 168 ч), где допустимая потеря массы обычно составляет 2–5 мг/см² [4]. Химическое поведение материала определяется свойствами его основных компонентов.

Редкоземельные элементы (Nd, Pr, Dy) относятся к лантаноидам, проявляют степень окисления +3. Для них характерно «лантаноидное сжатие» – уменьшение ионного радиуса с ростом атомного номера. Это высокоактивные металлы-восстановители. Неодим на воздухе

покрывается оксидно-гидроксидной пленкой. Реагирует с горячей водой и кислотами с выделением водорода. При 300°C самовозгорается на воздухе. Празеодим по свойствам близок к неодиму, в составе материала магнита ведёт себя аналогично, выступая активным анодом и ускоряя коррозионное разрушение по границам зерен. Диспрозий обладает сходной с неодимом химической активностью, но, легируя основную фазу $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, он повышает её потенциал, что может локально менять характер коррозии с межкристаллитной на более равномерную.

Железо, будучи основным элементом магнитной фазы $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, определяет ферромагнитные свойства сплава. С химической точки зрения его роль амбивалентна: с одной стороны, оно более устойчиво к окислению, чем редкоземельные компоненты, но с другой — в образовавшейся многофазной структуре оно выступает катодом по отношению к анодной неодим-обогащенной фазе. Эта электрохимическая несовместимость является движущей силой межкристаллитной коррозии, когда коррозии подвергается не железо, а именно граничные фазы, богатые редкоземельными элементами.

Спеченный материал магнитов Nd-Fe-B характеризуется сложной неоднородной микроструктурой, многофазным составом и высокой химической активностью редкоземельных компонентов. Эти факторы обуславливают его низкую коррозионную стойкость в агрессивных средах и диктуют необходимость применения специальных технологических приемов при подготовке поверхности и нанесении многослойных защитных покрытий. Уровень спеченности, фазовый состав и микроструктура оказывают решающее влияние как на коррозионное поведение, так и на технологичность материала в процессах гальванической обработки.

Литература:

1. ГОСТ Р 52956-2008 Материалы магнитотвердые спеченные на основе сплава неодим-железо-бор. Классификация. Основные параметры. — М.: Стандартинформ, 2008. — 12 с.
2. Пат. 2174261 Российская Федерация, МПК H01F 1/057. Материал для редкоземельных постоянных магнитов / Лилеев А. С., Менушенков В. П., Савченко А. Г.; заявитель и патентообладатель Московский государственный институт стали и сплавов. — № 2000115446/07; заявл. 15.06.2000; опубл. 27.09.2001, Бюл. № 27. — 5 с.
3. Слинкин И. В., Чикова О. А. Магнитная структура и наномеханические свойства спеченных постоянных магнитов Nd-Dy-Fe-B марки USC-20L // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. — 2020. — № 5. — С. 43–52.

4. Неодимовые магниты с низкой потерей веса; Спеченный неодимовый магнит [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.magnet-sdm.com> (дата обращения: 18.10.2025).

ПОЛУЧЕНИЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВИСМУТА И ОЛОВА

С. Г. Никонова¹, Л. И. Афонина^{1,2}

**¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sanoks1919@gmail.com**

**²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск**

Научный руководитель: Афонина Л. И. к. х. н., доцент

Проведен анализ литературы по методам получения сложных оксидных систем на основе висмута и олова с целью выбора метода получения, обеспечивающего высокую чистоту и однородность конечного продукта, а также контроль его химического и фазового состава. Показана возможность синтеза $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ в гидротермальных условиях с использованием в качестве прекурсоров цитрата висмута ($\text{C}_6\text{H}_5\text{BiO}_7$) и станната натрия ($\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

An analysis of the literature on methods for producing complex oxide systems based on bismuth and tin was carried out with the aim of selecting a production method that ensures high purity and homogeneity of the final product, as well as control of its chemical and phase composition. The possibility of synthesizing $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ under hydrothermal conditions using bismuth citrate ($\text{C}_6\text{H}_5\text{BiO}_7$) and sodium stanate ($\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) as precursors is shown.

В современном материаловедении значительный интерес вызывают многокомпонентные оксидные системы, включающие висмут и олово. Объединение данных элементов на оксидной основе приводит к образованию веществ, демонстрирующих ряд ценных физико-химических свойств, ключевыми из которых являются высокие диэлектрические постоянные и наличие фазовых переходов при криогенных и близких к ним температурах. Подобный набор характеристик открывает перспективы для применения данных материалов в качестве основы для полупроводниковых устройств, керамических и стеклоэмалевых покрытий, а также в роли эффективных фотокатализаторов. В последние годы оксид висмута-олова пирохлорного типа, $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$, является технологически важным материалом, используемым в таких приложениях, как катализ и газовые датчики [1].

Известно, что в зависимости от температуры $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ существует в трёх полиморфных модификациях [2]. Моноклинная (α -фаза) термодинамически стабильна при комнатной температуре до 90 °С, β - $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ (гранецентрированная кубическая) существует при 90 – 680 °С. При температуре выше 680 °С регистрируется γ -фаза $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$, которая принадлежит идеальной (кубической) структуре пирохлора. Недавние исследования показали, что γ - $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ возможно получить при низких температурах (180–240 °С) в условиях гидротермального синтеза [3].

Для получения $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ используют различные методы: твердофазные, механохимические, «растворные» и др. Основным недостатком твердофазного метода, несмотря на простоту его осуществления и возможность проведения реакций в отсутствие растворителей, является то, что в ходе синтеза предоставляется мало возможностей для регулирования структурно-фазового состояния твердых веществ. В ряде случаев использование мелкодисперсных оксидов олова и висмута позволяет снизить температуру синтеза до 600–700 °С и увеличить скорость твердофазного взаимодействия [4]. Станнат висмута может быть получен механохимическим способом путем перетирания смеси оксидов олова и висмута в планетарной мельнице с центробежным ускорением 60g в течение 5 мин, но при этом необходимо изготовление барабана мельницы из материала устойчивого к истиранию [5].

В процессах получения станната висмута особое внимание следует уделять методам, которые позволяют контролировать размер и форму частиц, а также удельную поверхность продукта. Эти параметры существенно влияют, например, на его каталитические свойства. Наиболее перспективными в этом плане являются «растворные методы», к которым относятся золь-гель технологии, гидротермальные, сольвотермальные и микроволновые синтезы [1]. Так, в ходе гидротермальных синтезов реагенты помещают в специальные автоклавы и путем регулирования значений pH раствора, температуры или времени реакции удастся получать различные наноструктурированные образцы со специфической морфологией, а также предотвращать агломерацию частиц, добиваться высокой кристалличности и гомогенности продукта. В последнее время вызывают интерес сольвотермальные методы синтеза, которые также проводятся в автоклавах, но вместо воды в качестве растворителя используют различные полярные и неполярные растворители, например этиленгликоль, спирты (очень часто многоатомные), толуол, бензол. В ряде случаев в ходе синтеза удастся снизить температуру и сократить время обработки. Отметим, что нанокристаллы, полученные этим

методом, обычно хорошо окристаллизованы, но имеют широкое распределение по размерам. Регулировать рост и размеры наночастиц позволяет в ряде случаев введение в реакционную смесь поверхностно-активных веществ, таких как поливинилпирролидон.

В дополнение к гидротермальным или сольвотермальным методам, $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ может быть также получен с использованием микроволновых технологий [6]. Использование микроволнового излучения значительно ускоряет химические реакции. Процесс протекает гораздо быстрее, чем при использовании обычного нагрева. СВЧ-излучение нагревает непосредственно молекулы, что делает процесс более энергоэффективным. Растворы реагентов, как правило, нагревают в микроволновой печи 15-20 мин при мощности 750 Вт. Однако, получившиеся после СВЧ-обработки осадки требуют дальнейшего отжига в течение 5 ч при различных температурах от 300°C до 700°C.

Таким образом, анализ литературы показал, что существует большое разнообразие методов получения сложных оксидных систем на основе висмута и олова. Задача состоит в том, чтобы выбрать подходящий метод, обеспечивающий контроль химического и фазового состава, а также морфологию конечного продукта.

В данной работе исследован процесс синтеза $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ гидротермальным методом в зависимости от величины pH исходной смеси и состава прекурсоров. В первой серии экспериментов в качестве прекурсоров использовали порошки: 1,5 ммоль Bi_2O_3 и 3 ммоль $\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, которые предварительно растворяли в 30 мл 2 М раствора хлороводородной кислоты.

К полученному раствору добавляли 2 М раствор NaOH до pH 12. Объем образовавшейся белой суспензии доводили водой до 75 мл, дополнительно проводили диспергирование ультразвуком и переносили в автоклав объемом 100 мл с тефлоновым покрытием, который выдерживали при температуре 160 °C в течение 20 часов. По окончании синтеза автоклав охлаждали до комнатной температуры, полученный осадок извлекали, промывали несколько раз дистиллированной водой и этанолом, а затем высушивали при температуре 80°C.

В следующей серии экспериментов в качестве висмутсодержащего прекурсора использовали цитрат висмута ($\text{C}_6\text{H}_5\text{BiO}_7$), который в количестве 3 ммоль добавляли к предварительно полученному раствору 3 ммоль $\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в 35 мл воды. Дальнейшую обработку суспензии проводили в условиях описанных выше.

Фазовый состав полученных продуктов оценивался на основании данных рентгенофазового анализа (РФА) с помощью базы данных ICDD PDF-4 (2011 г.). Основные дифракционные максимумы наблюдались при

$2\theta = 28,8^\circ, 33,3^\circ, 47,9^\circ, 56,9^\circ$, и их можно отнести к чистой кубической фазе $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ (ICDD № 87-0284). На дифрактограммах не наблюдалось никаких дополнительных пиков, что указывает на высокую чистоту получаемых продуктов. Интенсивные и острые дифракционные пики свидетельствуют, что синтезированные образцы хорошо окристаллизованы. Для сравнения различий в характеристиках, был получен образец, который выдерживался в тех же гидротермальных условиях, но при более низком значении pH, равном 10. Установлено, что в этом случае чистый $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ получить не удастся. В продуктах присутствует достаточное количество непрореагировавших исходных веществ.

Для полученных образцов $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ также записаны ИК спектры. Основные полосы при 625 см^{-1} и 545 см^{-1} , относятся к валентным колебаниям связи металл–кислород (Sn–O) в октаэдре SnO_6 и колебаниям связи Bi–O–Bi. Полоса при 434 см^{-1} , обусловлен связью Bi–O. Полученные данные хорошо согласуются с представленными в литературе [7].

Таким образом, показана возможность гидротермального синтеза $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$. Впервые для этих целей в качестве одного из прекурсоров использовался цитрат висмута. Предполагается, что участие цитрат-ионов в процессах синтеза будет способствовать образованию наночастиц вследствие комплексообразования.

Литература:

1. A critical review on modification strategies of $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ photocatalysts and their applications in energy and environmental remediation fields / X.-J. Wen, X. Wu, L. Hu, X.-K. Wu et al. // *Coordination Chemistry Reviews*. – 2025. – Vol. 526. – No. 216377.
2. Polymorphism in $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ / R. Shannon, J. Bierlein, J. Gillson, G. Jones et al. // *J. Phys. Chem. Solid*. – 1980. – Vol. 41. – P. 117–122.
3. Novel photocatalyst, $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$, for photooxidation of As(III) under visible-light irradiation / Q. Tian, J. Zhuang, J. Wang, L. Xie et al. // *Appl. Catal. A: Gen*. – 2012. – Vol. 425–426. – P. 74–78.
4. A theoretical and experimental study of the distorted pyrochlore $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ / A. Walsh, G. W. Watson, D. J. Payne, G. Atkinson // *J. Mater. Chem*. – 2006. – Vol. 16 (34). – P. 3452–3458.
5. Фотокаталитическое разделение изотопов на поверхности нанополупроводников / В. И. Сачков, О. С. Андриенко, М. А. Казарян, С. Т. Кабаев и др. // *Международный научный журнал альтернативной энергетики и экологии*. – 2007. – Т. 6(50). № 172.

6. Temperature-dependent preparation of bismuth pyrostannate $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ and its photocatalytic characterization / N. D. Phu, P. K. Vu, D. D. Dung, D. D. Bich et al. // Mater. Chem. Phys. – 2019. – Vol. 221. – P. 197–202.

7. Pascuta P., Culea E. FTIR spectroscopic study of some bismuth germanate glasses containing gadolinium ions // Mater. Lett. – 2008. – Vol. 62 (25). – P. 4127–4129

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ АЛЮМИНАТОВ МАГНИЯ ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ МЕТИЛЦИКЛОГЕКСАНА

Д. М. Шивцов¹, Е. В. Разуваев², Е. В. Ильина¹

¹Институт катализа СО РАН им. Г. К. Борескова, г. Новосибирск,

**²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, egorikrazuvaev@gmail.com**

Научный руководитель: Бедило А. Ф., к.х.н., с.н.с.

Предложен золь-гель синтез высокодисперсных никельсодержащих алюминатов магния для каталитического дегидрирования метилциклогексана. Установлено, что метод синтеза и состав катализатора существенно влияют на их текстурные свойства. Показано, что синтезированные катализаторы превосходят по активности аналог, полученный пропиткой коммерческого $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

A sol-gel synthesis of highly dispersed nickel-containing magnesium aluminates for catalytic dehydrogenation of methylcyclohexane has been developed. It was found that the synthesis method and catalyst composition significantly affect their textural properties. The synthesized catalysts were shown to outperform a reference catalyst prepared by impregnation of commercial $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Развитие водородной энергетики ставит задачу создания безопасных и экономичных способов хранения и транспортировки водорода. Одним из наиболее перспективных решений в этой области являются жидкие органические носители, обладающие значительными экономическими преимуществами. Их рентабельность обеспечивается малой энергоемкостью и низкими капитальными затратами, а существенным плюсом является возможность многократного использования в результате обратимых реакций гидрирования и дегидрирования. Промышленное внедрение технологии ЛОНС на основе пары толуол/метилциклогексан развивается компаниями Японии (Chiyoda Corporation) и Германии (Hydrogenious ЛОНС Technologies), где используются катализаторы на металлах платиновой группы, что

определяет высокую стоимость процесса [1]. В связи с этим актуальной задачей остаётся разработка более доступных аналогов на основе благородных металлов.

Перспективным направлением в создании высокодисперсных материалов являются золь-гель методы, позволяющие получать системы с развитой поверхностью и пористостью. Эффективность носителей на основе аэрогелей алюмината магния в реакциях дегидрирования продемонстрирована в работе [2], где катализаторы на основе аэрогелей Mg-Al-O показали высокую активность в реакции дегидрирования тетрадекагидрофеназина благодаря стабилизации палладия с размером частиц около 5 нм.

Для приготовления никельсодержащих катализаторов в рамках настоящей работы был взят аналогичный золь-гель метод с последующей модификацией, заключающейся во введении никеля на стадии формирования геля. В качестве прекурсоров использовали свежеполученный метилат магния и изопропоксид алюминия в смеси толуола и метанола. Далее добавляли рассчитанное количество нитрата никеля ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), предварительно растворённого в метаноле. Затем к реакционной смеси добавляли стехиометрическое количество дистиллированной воды, что приводило к гидролизу алкоксидов и гелеобразованию. Полученный гель переносили в автоклав, где проводили сушку в сверхкритических условиях для метанола. Высушенный порошок аэрогеля прокаливали в потоке водорода при 700°C в течение 1 часа для удаления органических остатков и восстановления никеля.

С целью изучения влияния метода сушки на текстурные и каталитические свойства, параллельно была синтезирована серия образцов, полученных золь-гель методом с последующей сушкой при атмосферном давлении, с различной долей никеля в составе. Несмотря на уменьшение удельной поверхности с ростом содержания никеля, образец $\text{Ni}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Al}_2\text{O}_4$ продемонстрировал высокое значение объёма пор (Таблица 1).

Таблица 1 – Значения текстурных характеристик образцов

Состав	Метод	$S_{\text{БЭТ}}, \text{ м}^2/\text{г}$	$V_{\text{пор}}, \text{ см}^3/\text{г}$
$\text{Ni}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$	Аэрогель	450	2.66
$\text{Ni}_{0.3}\text{Mg}_{0.7}\text{Al}_2\text{O}_4$	Золь-гель	380	0.45
$\text{Ni}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$	Золь-гель	320	0.45
$\text{Ni}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Al}_2\text{O}_4$	Золь-гель	260	0.83

Образцы приготовленных катализаторов были испытаны в процессе дегидрирования метилциклогексана. Предварительно катализатор массой 300 мг активировался в реакторе перед реакцией при температуре 400 °С в течение 90 минут в смеси, содержащей 15 об.% H₂ и 85 об.% N₂. После активации установка остужалась до 300 °С и процесс дегидрирования проводили в течение 120 минут. Реакционная смесь содержала 13 об.% метилциклогексана, 4 об.% H₂ и 83 об.% N₂. Концентрацию водорода в газовой смеси на выходе из реактора определяли с помощью газоанализатора ГАММА-100 («Аналитприбор», Россия, г. Смоленск). Жидкофазные продукты конденсировали и анализировали методом газовой хроматографии на приборе Цвет-500 (ООО «НТЦ «Цвет», Россия, г. Дзержинск). Рассчитывали величину конверсии метилциклогексана и производительность по H₂.

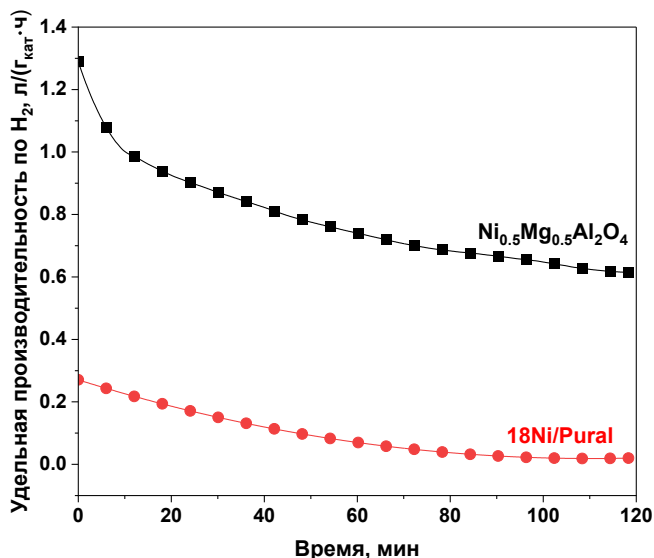


Рис. 1— Кинетика выделения водорода в реакции дегидрирования метилциклогексана

Синтезированные золь-гель методом никельсодержащие алюминаты магния показали значительно более высокую каталитическую активность в реакции дегидрирования по сравнению с катализатором, содержащим такую же концентрацию никеля, но полученным пропиткой по влажёмкости коммерческого носителя γ -Al₂O₃ (Рисунок 1).

Литература:

1. Aakko-Saksa, P.T., Cook, C., Kiviaho, J., Repo, T. Liquid organic hydrogen carriers for transportation and storing of renewable energy –Review and discussion // Journal of Power Sources. –2018. – V. 396. – P. 803-823.
2. Shitsov D. M., Koskin A. P., Stepanenko S. A., Ilyina E. V., Ayupov A. B., Bedilo A. F., Yakovlev V. A. Hydrogen Production by N-Heterocycle Dehydrogenation over Pd Supported on Aerogel-Prepared Mg-Al Oxides // Catalysts. – 2023. – V.13.– 334.

**ВЛИЯНИЕ ЭВТЕКТИК СИСТЕМЫ Ni-Ti
НА МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ
КОМПОЗИТОВ Ni/TiC**

Н. С. Ридель¹, С. А. Ковалева², И. С. Веремей^{2,3}

**¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, Россия**

**²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь**

**³Университет Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь e-mail: ridelns@solid.nsc.ru,
Научный руководитель: Григорьева Т. Ф., д.х.н., в.н.с**

Изучено влияние эвтектик Ni-Ti на механохимический in situ синтез карбида титана в матрице никеля. Установлено, что синтез в планетарной шаровой мельнице АГО 2 идет в режиме механически стимулированной реакции с индукционным периодом 110 с и полностью завершается к 120 с. Регистрируется образование TiC до 38 мас. % с отношением C/Ti = 0.83, с размером кристаллитов около 30 нм. В этих же временных интервалах формируется твердый раствор Ni(Ti).

The effect of low-temperature Ni-Ti eutectic agents on the in situ mechanochemical synthesis of titanium carbide within a nickel matrix was studied. It was found that the synthesis occurs in a mechanically stimulated reaction mode, with an induction time of 110 seconds and complete completion by 120 seconds. A substantial amount of TiC was recorded, up to 38 weight percent, with a high carbon content of C/Ti = 0.83 and a crystallite size of approximately 30 nanometers. During this time, a solid solution of Ni(Ti) was also formed.

В настоящее время перспективными материалами для энергетики, авиационной промышленности, машиностроения и инновационных конструкционных элементов, где требуется оптимальное сочетание прочности, ресурса и массы, являются металломатричные композиционные материалы. Они представляют собой материал, в

котором металлическая матрица упрочняется армирующими компонентами, благодаря которым композиционный материал обладает высокой прочностью, износостойкостью и термостойкостью. Получение материалов с нанокристаллической дисперсно-упрочненной структурой позволяет формировать их с заданными физическими и механическими свойствами. Выделяясь по границам или внутри зерен, дисперсные частицы препятствуют рекристаллизации зерна, увеличивая температурную работоспособность сплавов.

Никельсодержащие матрицы, благодаря механической прочности и коррозионной стойкости никеля в высокотемпературных средах, подходят для изготовления нагруженных деталей энергетического и турбинного оборудования. Благодаря высокой совместимости с никелем, карбид титана считается одним из наиболее перспективных упрочняющих наполнителей, обладающих низкой плотностью, высокой температурой плавления, твердостью, теплопроводностью, устойчивостью к тугоплавкости и химической инертностью.

Перспективным методом получения нанокристаллических композиционных материалов является механохимический метод, позволяющий инициировать химическое взаимодействие компонентов непосредственно в процессе ударно-сдвигового нагружения в мельнице без необходимости высокотемпературного воздействия. Начальная стадия представляет собой процесс формирования механокомпозиата, особенностью строения которого является большая внутренняя межфазная поверхность, что служит идеальными условиями для последующих твердофазных гетерогенных реакций. Синтез ряда карбидов, и особенно карбида титана, сопровождается выделением значительного количества тепла. В условиях механической активации при взаимодействии элементарных порошков Ti и C наблюдается резкий рост температуры и скорости образования карбида, что является характерным для протекания механостимулированных реакций (МСР). Механостимулированная реакция может быть осуществлена при условии, что адиабатическая температура процесса превышает температуру плавления ($T_{пл}$) карбидообразующего металла. В разбавленных металлических смесях с высокореакционными компонентами, такими как Ti+C, реакции формирования металлокерамических композитов могут протекать *in situ*, обеспечивая равномерное распределение упрочняющих частиц, чего невозможно достичь смешением порошков металлической матрицы с готовой упрочняющей добавкой. Целью работы является изучение влияния низкотемпературных эвтектик Ni-Ti на динамику механохимического синтеза композитов Ni/TiC из смеси Ni+Ti+C.

В данной работе механохимический синтез в смесях состава 50 мас.% Ni+(Ti+C) проводили в высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице АГО-2, в атмосфере аргона. Значение адиабатической температуры рассчитывали по методике [1]. Структурно-фазовое состояние образцов после механической активации исследовали методом рентгеноструктурного анализа.

В системе Ni–Ti–C, кроме взаимодействия углерода с титаном, возможно взаимодействие никеля с титаном, что может оказать существенное влияние на динамику синтеза. Расчетная адиабатическая температура составляет $\sim 1955^\circ\text{C}$, что выше температуры плавления никеля ($T_{\text{пл}} = 1455^\circ\text{C}$) и титана ($T_{\text{пл}} = 1670^\circ\text{C}$) и можно ожидать появление жидкой фазы. Однако наличие эвтектик Ni–Ti с более низкими температурами $T_{16.5\text{ат.}\% \text{Ti}} = 1304^\circ\text{C}$, $T_{39\text{ат.}\% \text{Ti}} = 1118^\circ\text{C}$, $T_{76\text{ат.}\% \text{Ti}} = 942^\circ\text{C}$ [2], будут способствовать более раннему появлению локального расплава и, вследствие этого, возможного сокращения индукционного периода МСР образования TiC.

Экспериментально показано, что при механохимическом синтезе в тройной смеси элементарных порошков Ti и C с 50 мас.% Ni образование TiC идет в режиме МСР. Индукционный период составляет 110 с, и образование TiC полностью завершается к 120 с. В этих временных интервалах наблюдается образование TiC до 38 мас.% с отношением C/Ti=0.83 и размером кристаллитов около 30 нм. К 4 мин активации регистрируется образование TiC 47 мас.%. В сравнении с ранее проведенными исследованиями в аналогичных условиях смеси Ti+C стехиометрического состава, индукционный период реакции которой составил 4 мин [3], введение никеля сокращает его в ~ 2 раза. Такая динамика синтеза достаточно обоснованно позволяет говорить о жидкофазном механизме, связанном с появлением низкотемпературных эвтектик Ni–Ti. После 120 с, одновременно с появлением TiC, регистрируется увеличение параметра решетки Ni до $a = 3.544 \pm 0.001 \text{ \AA}$, по сравнению с исходным ($a = 3.535 \text{ \AA}$), которое свидетельствует о формировании твердого раствора.

Таким образом, индукционный период МСР зависит не только от $T_{\text{пл}}$ карбидообразующего металла, но и от $T_{\text{пл}}$ металлической матрицы и наличия эвтектик в системе. Чем ниже $T_{\text{пл}}$ компонентов реакции, тем меньше индукционный период МСР.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТМ СО РАН (проект № 121032500062-4)

Литература:

1. Алехин О. С., Королев Д. В., Суворов А. К., Суворов К. А. Расчет адиабатической температуры горения энтальпийным методом: Методические указания, СПб., СПбГТИ (ТУ), 2001. 18 с.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справ. / Под общ. ред. Н. П. Лякишева. М.: Машиностроение, 2001. Т. 3. 872 с.
3. Rapid mechanochemical synthesis of titanium and hafnium carbides / N. Lyakhov, T. Grigoreva, V. Šepelák, B. Tolochko, A. Ancharov, S. Vosmerikov, E. Devyatkina, T. Udalova, S. Petrova // J. Mater. Sci. – 2018. – V 53,– P. 13584-13591. doi: 10.1007/s10853-018-2450-x.

**СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ КРИОГЕЛЕЙ
КАРБОКСИЭТИЛХИТОЗАНА, СШИТОГО ГЛУТАРОВЫМ
АЛЬДЕГИДОМ, В КАЧЕСТВЕ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ
АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПОЧВУ**

М. Е. Савенко¹, А. А. Дранников¹, А. В. Пестов²

**¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск**

**²Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского Уральского
отделения Российской академии наук,
г. Екатеринбург, marussia556@gmail.com**

**Научный руководитель: Дранников А. А., к.ф.н., с.н.с.
интеграционной лаборатории «Биоинженерия»**

В данной работе рассмотрен синтез криогеля-носителя биостимуляторов роста растений на основе карбоксиэтилхитозана (КЭХ), сшитого глутаровым альдегидом (ГА). Изучено влияние на свойства криогеля различных параметров его получения, таких как температура и мольное соотношение КЭХ:ГА. Проведён ряд исследований полученных образцов на выход продукта, пористость материала и его степень набухания. Проведена оценка полученного продукта на его способность набухать в аминокислотах. Сделаны выводы о перспективах применения сшитых криогелей в качестве системы доставки активных компонентов в почву.

The present study provides the insights on the synthesis of a cryogel carrier for plant growth biostimulants based on carboxyethylchitosan (CEC) cross-linked with glutaraldehyde (GA). The influence of various process parameters, such as temperature and the CEC:GA molar ratio, on the cryogel's properties were studied. The product yield, material's porosity, and its degree of swelling were investigated. The resulting product was tested in regard to its ability to swell in the amino acids environments. The potential use of cross-linked cryogels as a system for delivering active components to the soil has been discussed.

В сельском хозяйстве полимерные материалы используют в нескольких направлениях, в одном из которых они могут выступать в роли систем доставки минеральных веществ, стимуляторов роста, пестицидов. В основном применяются синтетические полимеры, которые производятся из нефти и угля, что делает их несовместимыми с окружающей средой, поскольку они не могут быть включены в естественную систему переработки. Учитывая негативное воздействие синтетических полимеров на окружающую среду, решением могут стать смеси с различными типами и источниками биологических материалов, называемых биополимерами, таких как хитин/хитозан [1].

Хитин и его деацетилированное производное, хитозан, представляют собой семейство линейных полисахаридов, состоящих из различных количеств ($\beta 1 \rightarrow 4$) связанных остатков N-ацетил-2-амино-2-дезоксид-глюкозы (глюкозамин, GlcN) и 2-амино-2-дезоксид-глюкозы (N-остатки ацетилглюкозамина, GlcNAc). В нейтральных и кислых условиях аминогруппа ($-NH_2$) в его составе протонируется, накапливая положительный заряд ($-NH_3^+$), что позволяет хитозану наиболее эффективно связывать биологически активные вещества [2].

Использование хитозана в агрохимических целях обусловлено его биоразлагаемостью в почве, низкой токсичностью относительно живых организмов, доступностью сырья и наличием биологической активности. Большинство его производных демонстрируют набухание, зависящее от pH, что обеспечивает регулируемую кинетику высвобождения [3].

Для создания эффективной системы доставки удобрений карбоксиэтилхитозан предпочтительнее обычного хитозана. Наличие карбоксильных групп позволяет при сшивании формировать более прочные и стабильные полимерные сетки, что повышает влагоудерживающую способность полимера и обеспечивает более контролируемый процесс высвобождения питательных веществ.

В настоящей работе проведены синтез и исследование применения криогелей карбоксиэтилхитозана, сшитого глутаровым альдегидом, в качестве системы доставки активных компонентов в почву.

Синтез криогелей КЭХ, сшитого ГА проводили следующим образом. В щелочной раствор добавляли КЭХ и перемешивали в течение 1 часа. На следующем этапе добавляли в реакционную массу уксусную кислоту для достижения значения $pH < 7$, загружали раствор ГА с соотношением КЭХ:ГА 1:2,5, 1:5, 1:10, 1:20, 1:40, и перемешивали до начальной стадии сшивания (5-50 мин), в течение 5-50 мин в зависимости от мольного соотношения реагентов. стакан с реакционной массой помещали в морозильную камеру при $-19^\circ C$, а также при $-80^\circ C$ градусах в течение 5

суток. После продукт размораживали, промывали водой до достижения pH~5 и высушивали в течении суток.

В случае криогелей, синтезированных при -19°C (КЭХ:ГА = 1:40) и -80°C (КЭХ:ГА = 1:20), наблюдалось образование пленки, что говорит об отсутствии сшивки с образованием трехмерной структуры.

Выход полученного продукта (η) с учётом влаги (w) рассчитывали по формуле (1).

$$\eta = \frac{m}{m_0} \times 100\% - w, (1)$$

где, m-практическая масса, m_0 -теоритическая масса

Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 2 - Массовая доля выхода продукта

Т _{синтеза} , °C		Мольное соотношение «КЭХ:ГА»				
		1:2,5	1:5	1:10	1:20	1:40
-19°C	m_0	12,09	11,84	11,85	11,75	11,73
	m	9,61	9,76	9,45	9,31	7,61
	ω	6,09	6,39	6,25	3,10	2,12
	$\eta, \%$	73,42	76,04	73,54	76,10	62,73
-80°C	m_0	11,72	11,72	11,82	11,83	Сшивки не произош ло
	m	8,67	10,99	8,90	9,08	
	ω	0,82	1,03	3,23	1,20	
	$\eta, \%$	73,10	92,80	72,07	75,49	

Наилучший выход продукта наблюдается у геля, синтезированного при -80°C с соотношением КЭХ:ГА = 1:5.

Также была исследована пористость криогелей [4].

Спирт химически инертен к испытуемому образцу, что важно для метода, основанного на измерении массы жидкости, заполняющей поры [5].

Степень заполнения материала порами рассчитывали по формуле (2).

$$\Pi = \frac{(m - m_0)}{(m * (m - m_0))} * 100\%, (2)$$

где m- вес сухого геля, m_0 - вес насыщенного образца

Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Пористость геля

Т _{синтеза} , °С		Мольное соотношение «КЭХ:ГА»			
		1:2,5	1:5	1:10	1:20
-19°С	m ₀	0,25	0,25	0,25	0,25
	m	0,46	0,48	0,48	0,41
	П	79,98	91,79	88,36	61,74
-80°С	m ₀	0,26	0,25	0,25	-
	m	0,37	0,42	0,46	-
	П	44,18	67,12	83,32	-

Наилучшая степень заполнения материала порами наблюдается у геля, синтезированного при -19°С (КЭХ:ГА = 1:5), при -80°С (КЭХ:ГА = 1:10).

Далее проводили исследование на степень набухания в жидкостях весовым методом, расчет вели по формуле (3) [6].

Данный подход был использован для исследования влияния температуры синтеза криогелей и мольного соотношения «КЭХ:ГА» на способность криогелей к загрузке растворами аминокислотных биостимуляторов посредством набухания (α), а также на количество поглощенных кислот ($m_{\text{ам}}$) по формуле 4.

$$\alpha = \frac{m - m_{30 \text{ мин}}}{m_{30 \text{ мин}}} \times 100\% \quad (3)$$

$$m_{\text{ам}} = m_{\text{сушка}} - m_0 \quad (4)$$

m- вес сухого геля, m_{30 мин}- вес набухшего геля, m_{сушка}- вес высушенного геля с загруженными аминокислотами.

Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3 - набухание в растворе аминокислот

Т _{синтеза} , °С		Мольное соотношение «КЭХ:ГА»			
		1:2,5	1:5	1:10	1:20
-19°С	m ₀	0,25	0,25	0,25	0,25
	m _{30 мин}	1,21	1,30	1,19	1,22
	m _{сушка}	0,44	0,47	0,45	0,45
	α	381,31	416,84	372,14	384,33
	m _{ам}	0,18	0,22	0,20	0,20
-80°С	m ₀	0,25	0,25	0,25	-
	m _{30 мин}	1,08	1,04	1,14	-
	m _{сушка}	0,42	0,40	0,44	-
	α	327,28	308,40	349,02	-
	m _{ам}	0,17	0,15	0,19	-

У геля, синтезированного при -19°C (КЭХ:ГА = 1 :5) выявлена самая высокая способность к наполнению растворами аминокислот.

В результате был проведён синтез криогелей на основе КЭХ, сшитого ГА. Определены выход продукта и пористость, а также проведена оценка способности к поглощению биостимуляторов растений. Полученные данные позволяют сделать заключение, что гели, синтезированные при -19°C (КЭХ:ГА = 1:5) и при -80°C (КЭХ:ГА = 1:10), являются перспективными кандидатами в качестве систем доставки активных компонентов в почву.

Литература:

1. Gowthaman N. S. K., Rajeshkumar G., Sathishkumar T. P., Senthilkumar N. Advantages of biopolymers over synthetic polymers: social, economic, and environmental aspects // *Biopolymers and their industrial applications*. – Elsevier, 2021. – P. 351–372.

2. Максимова Ю. Г., Щетко В. А., Максимов А. Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. – 2023. – Т. 58, № 1. – С. 23–42.

3. Gel-Phase Synthesis and PH-Sensitive Swelling-Structure Relationships of N-Carboxyethylchitosan / P.I. Dubovskaia, A. Saeidi, A.A. Pronchenko, A.I. Drannikova, I.A. Lukoyanov, F.K. Aripova, M.E. Savenko, E.A. Veretennikova, A.V. Pestov, E.A. Litvinova, A.A. Drannikov // *Eurasian Journal of Chemistry*. – 2025. – doi: 10.31489/2959-0663/2-25-6.

4. Fabrication of biocompatible porous scaffolds based on hydroxyapatite/collagen/chitosan composite for restoration of defected maxillofacial mandible bone / M.S. Rahman, M.M. Rana, L.S. Spitzhorn, N. Akhtar, M.Z. Hasan, N. Choudhury, T. Fehm, J.T. Czernuszka, J. Adjaye, S.M. Asaduzzaman // *Progress in Biomaterials*. – 2019. – Vol. 8, N 3. – P. 137–154. – doi: 10.1007/s40204-019-0113-x.

5. Сравнение смачиваемости стеклопластика этиловым спиртом и керосином для определения открытой пористости / Е. Д. Васильева, А. С. Абрамов, И. И. Петров, С. В. Сидорова // *Глобальная энергия*. – 2022. – Т. 28, № 3.

ГОСТ Р ИСО 1817-2009. Резина. Определение стойкости к воздействию жидкостей. – Введ. 2011–01–01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 5 с.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПИРИДИНИЕВОВОГО АНИОНИТА И РАВНОВЕСИЕ СОРБЦИИ УРАНА ИЗ СЕРНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ

К. И. Хайруллина, В. Е. Каёткин

**Уральский федеральный университет имени первого президента
России Б.Н. Ельцина,**

г. Екатеринбург, hakail-orisk@mail.ru

Научный руководитель: Титова С. М., к.т.н., доцент

В данной работе были определены основные характеристики пиридиниевого анионита АВПГ и исследовано равновесие сорбции урана этим анионитом из сернокислых растворов без избытка и с добавлением хлорид-ионов.

This study determined the main characteristics of the anion exchanger AHPG and investigated the sorption equilibrium of uranium from sulfuric acid solutions, both with and without an excess of chloride ions, using this resin.

В настоящее время основным методом добычи урана является скважинное подземное выщелачивание (СПВ). На большинстве предприятий России процесс СПВ ведут посредством серной кислоты. В 2025 году введено в эксплуатацию новое месторождение урана, характеризующееся повышенной минерализацией недр. Вследствие этого в продуктивных растворах наблюдается повышенное содержание хлорид-ионов до 7-9 г/дм³.

Известно, что основным методом переработки сернокислых продуктивных растворов является сорбция урана на анионитах. Присутствие большого количества хлорид-ионов в продуктивных растворах приведет к снижению эффективности извлечения урана анионитами, в первую очередь из-за конкурентного влияния хлорид-ионов.

Известно, что аниониты с пиридиниевыми функциональными группами эффективны для сорбции урана вследствие их высокой селективности по отношению к металлу.

Целью данной работы является исследования сорбции урана из сернокислых растворов пиридиниевым анионитом АВПГ без избытка и с избытком хлорид-ионов 8 г/дм³.

На первом этапе исследования определили основные физико-химические характеристики исследуемого анионита.

Предварительно анионит подвергали набуханию в среде дистиллированной воды в течение 24 ч. Затем определяли влажность набухшего анионита методом воздушно-тепловой сушки по стандартной методике ГОСТ 10898.1–84 «Методы определения влаги». Удельный

объем анионита устанавливали по ГОСТ 10890.4-84 «Метод определения удельного объема».

Также определили удельный объем воздушно-сухого анионита. Навеску сорбента в воздушно-сухом состоянии массой 1,6 г помещали в мерный цилиндр и фиксировали объем. Затем путём осторожного постукивания цилиндра о деревянную поверхность проводили уплотнение материала с последующей фиксацией конечного объема.

Насыпную плотность образца рассчитывали как отношение массы воздушно-сухого анионита к занимаемому им объёму в цилиндре без предварительного уплотнения.

Коэффициент набухания определяли следующим образом: в цилиндр помещали воздушно-сухой анионит, уплотняли его лёгким постукиванием дна цилиндра о деревянную поверхность и регистрировали начальный объём. Затем к образцу приливали дистиллированную воду и фиксировали объём набухшего анионита. Конечный результат рассчитывали как отношение объема набухшего анионита к объёму воздушно-сухого анионита. Все измерения выполняли в трех параллелях, в качестве результата использовали среднее арифметическое значение.

Основные физико-химические свойства анионита приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные физико-химические характеристики анионита АВПГ

Характеристика	Значения
Влажность, %	53,69
Удельный объем в-с, см ³ /г	1,48
Удельный объем влажного, см ³ /г	2,77
Насыпная плотность, г/см ³	2,03
Коэффициент набухания	2,08

Также был определен гранулометрический состав анионита АВПГ по методу мокрого отсева по ГОСТ 10900-84 «Методы определения гранулометрического состава». По результатам эксперимента определили, что основная фракция сорбента представлена частицами с диаметром от 0,8 до 0,9 мм, доля этой фракции составила 96%-97%. Доля остальных фракций мала и составила от 1,02 до 2,0%. Крупная фракция с диаметром зерен свыше 1,8 мм отсутствовала.

На втором этапе работы исследовали равновесию сорбции урана анионитом АВПГ из сернокислых растворов. Сорбцию вели в статическом режиме. Для этого навеску ионита в воздушно-сухом состоянии массой 50 мг приводили в контакт при постоянном

перемешивании с 100 см^3 модельного продуктивного раствора, содержащего $\text{U} - 30\text{-}750 \text{ мг/дм}^3$; $\text{Cl}^- - 0$ и 8 г/дм^3 ; $\text{H}_2\text{SO}_4 - 5 \text{ г/дм}^3$. Температура процесса $20\text{-}22 \text{ }^\circ\text{C}$. Время контакта фаз – 3 суток. По окончании перемешивания фазы разделяли, отбирали пробы маточников сорбции, направляли на количественный элементный анализ методом ICP-AES на приборе Optima 2100 DV (Perkin Elmer, США). По результатам анализа построены изотермы сорбции урана анионитом АВПГ из сернокислых растворов без добавления хлорид-ионов и с избытком хлорид-ионов 8 г/дм^3 , приведенные на рис.1.

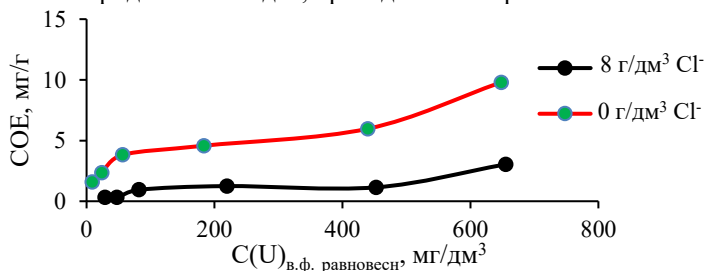


Рис. 1 – Изотермы сорбции урана анионитом АВПГ из сернокислых растворов без добавления хлорид-ионов и с избытком хлорид-иона 8 г/дм^3

При добавлении хлорид-ионов емкость анионита по урану значительно снижается. Изотермы имеют выпуклый профиль, это указывает на высокое сродство пиридиновых функциональных групп по отношению к урану. Далее осуществили обработку полученных изотерм по моделям Ленгмюра и Фрейндлиха [1, 2]. Изотермы сорбции урана в линеаризованных координатах данных моделей приведены на рис.2 и рис.3, соответственно.

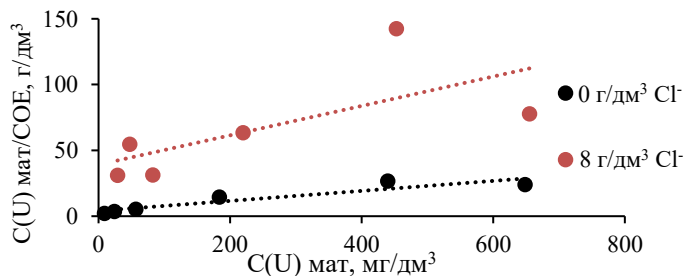


Рис. 2 – Изотермы сорбции урана анионитом АВПГ из сернокислых растворов без добавления хлорид-ионов и с избытком хлорид-иона 8 г/дм^3 в координатах модели Ленгмюра

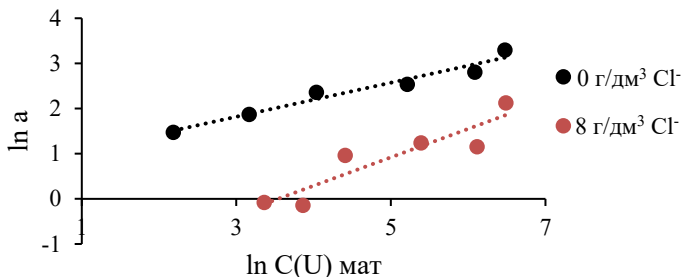


Рис. 3 – Изотермы сорбции урана анионитом АВПГ из сернокислых растворов без добавления хлорид-ионов и с избытком хлорид-иона 8 г/дм³ в координатах модели Фрейндлиха

Наилучшим образом сорбция урана из сернокислых растворов без избытка хлорид-ионов анионитом АВПГ описывается моделью Фрейндлиха, на что указывает высокое значение коэффициента корреляции $R^2 = 0,9542$. Это означает, что модель Фрейндлиха объясняет 95,4% вариативности экспериментальных данных. Значение константы Фрейндлиха $1/n=0,377$ ($n = 2,65$) подтверждает благоприятный характер сорбционного процесса, поскольку $n > 1$. Это свидетельствует о высоком сродстве функциональных групп анионита к комплексам урана в сернокислых растворах. Аналогичным образом сорбция урана из сернокислых растворов с избытком хлорид-ионов анионитом АВПГ описывается моделью Фрейндлиха ($R^2 = 0,8408$). Соответствие сорбции урана модели Фрейндлиха позволяет заключить, что процесс извлечения металла анионитом АВПГ из исследованных растворов не ограничивается образованием монослоя на поверхности анионита, и сорбционные центры анионита энергетически не эквивалентны.

На основании обработки изотерм можно заключить, что сорбция урана из сернокислых растворов без избытка и с избытком хлорид-ионов 8 г/дм³ анионитом АВПГ описывается уравнениями 1 и 2, соответственно (C_2 – равновесная концентрация урана в водной фазе, мг/дм³):

$$\varepsilon_{COE} = e^{(0,377C_2+0,6872)} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{COE} = e^{(0,6299C_2-2,2297)} \quad (2)$$

Таким образом, в представленной работе определили основные характеристики анионита АВПГ и установили, что сорбция урана из сернокислых растворов анионитом АВПГ без добавления и с избытком хлорид-ионов описывается моделью Фрейндлиха.

Литература:

1. Пимнева Л. А., Нестерова Е.Л., Изотермы сорбции ионов бария, меди и иттрия на карбоксильном катионите КБ-4ПХ2 // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 4. – С. 15–19.

2. Тихонова К. С. Применение адсорбционных моделей для описания равновесия в системе оксиды углерода-сорбент-катализатор // Инновации и перспективы современной науки. Естественные науки. – 2018. – С. 169–173.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СЕТЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ HFE-7100 НА МАЛЫХ И БОЛЬШИХ НАГРЕВАТЕЛЯХ

Р. О. Хомяк¹, Д. А. Швецов^{1,2}, А. Е. Брестер^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет

**²Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, code-cr@yandex.ru**

В статье представлены результаты исследования теплообмена при кипении в тонких слоях диэлектрической жидкости HFE-7100 на сетчатых покрытиях из нержавеющей стали с электрохимически осажденными пористыми структурами из меди. Сетчатые покрытия отличались по размеру нагревателя (120 мм и 22,7x22,7 мм²). Показано, что применение сетчатых покрытий, подверженных электрохимической обработке, приводит к интенсификации теплообмена до 106% по сравнению с поверхностью без сеток. Величина критического теплового потока на сетке, расположенном на нагревателе размером 22,7x22,7 мм², увеличивается в три раза по сравнению с нагревателем диаметром 120 мм.

The article presents the results of a study of heat transfer during boiling in thin layers of HFE-7100 dielectric liquid on stainless steel mesh coatings with electrochemically deposited porous copper structures. The mesh coatings differed in the size of the heater (120 mm and 22.7 x 22.7 mm²). It is shown that the use of mesh coatings subjected to electrochemical treatment leads to heat transfer enhancement up to 106% compared with a surface without mesh. The value of the critical heat flux on the mesh located on a heater measuring 22.7 x 22.7 mm² increases three times compared to a heater with a diameter of 120 mm.

Процесс кипения диэлектрических жидкостей используется для эффективного охлаждения различных поверхностей за счет их низкой температуры фазового перехода. Данный метод применяется в энергетике, в опреснительных установках, работающих на солнечной

энергии, и устройствах с фазовым переходом. Тонкий слой жидкости позволяет сократить расход теплоносителя и уменьшить массогабаритные характеристики теплообменного оборудования.

Модификация поверхности нагрева с помощью различных покрытий позволяет увеличить значения коэффициента теплоотдачи (КТО) и критического теплового потока (КТП). Использование сетчатых покрытий обладает рядом преимуществ:

- Начало кипения на сетчатых покрытиях происходит при меньших значениях температурного напора;
- Большая выборка из различных видов покрытий;
- Возможность серийного производства.

В работах [1-2] показано, что нанесение медно-цинкового покрытия на поверхность сетчатых покрытий позволяет существенно увеличить значения КТО и КТП.

Целью данной работы являлось изучение теплообмена при кипении в слоях HFE-7100 различной высоты с использованием сетчатых покрытий до и после электрохимической обработки.

Подробное описание экспериментальной установки представлено в [3]. Плотность теплового потока измерялась двумя методами: на нагревателе диаметром 120 мм использовались медь-константановые термопары, расположенные друг над другом для создания температурного градиента; для нагревателя $22,7 \times 22,7 \text{ мм}^2$ применялась термографическая съемка с использованием тепловизора FLIR x6530sc.

Для экспериментов было выбрано многослойное сетчатое покрытие, в конструкцию которого входило 6 сеток из нержавеющей стали, 3-х mesh 80 и 3-х mesh 40 сверху. В таблице 1 указаны параметры использованных сеток. Более крупная сетка (mesh 40) находится сверху, а мелкая (mesh 80) снизу. Это способствует эффективному образованию пузырьков за счет эффекта «дымохода» [4].

Таблица 1 – Параметры сеток

	Апертура, мкм	Диаметр проволоки, мкм
mesh 40	401	230
mesh 80	220	100

Для электрохимического модифицирования поверхности сетки использовался электролит следующего состава: 4,9 г/л CuSO_4 , 4,5 г/л ZnSO_4 , 55 г/л $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$, 35 г/л Na_2CO_3 , 12,5 г/л $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, 5 г/л H_3BO_3 .

На рисунке 1 представлены экспериментальные данные. Квадратами обозначена кривая кипения, полученная на поверхности размером диаметром 120 мм, а треугольниками – $22,7 \times 22,7 \text{ мм}^2$. Чёрным цветом обозначено сетчатое покрытие без модификаций, красным цветом –

покрытия после электрохимической обработки. Установлено, что для большого нагревателя (диаметром 120 мм) использование сетчатых покрытий, прошедших через электрохимическую обработку, приводит к увеличению КТП до 10 раз по сравнению с поверхностью без сеток до 3 раз по сравнению с сетчатым покрытием без модификаций. На малом нагревателе отличия между сетчатыми покрытиями проявляются слабее, но значения КТП выше в среднем в 3 раза по сравнению с сетками на большом нагревателе. Значения КТО на поверхности с сетчатыми покрытиями на малом нагревателе при тепловом потоке ~ 20 кВт/м² выше на 106%, чем на поверхности без сетчатых покрытий.

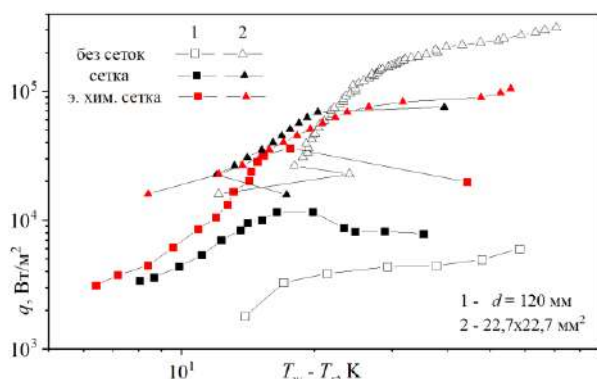


Рис. 1 – Зависимости теплового потока от температурного напора, полученные при кипении в слое HFE-7100 высотой 1.5 мм при 100 кПа

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ проект № 23-19-00245.

Литература:

1. Wang Y. Q. Wettability Modification to Further Enhance the Pool Boiling Performance of the Micro Nano Bi-Porous Copper Surface Structure / Y. Q. Wang, J. L. Luo, Y. Heng, D. C. Mo, S. S. Lyu // Int. J. Heat Mass Transfer. – 2018. – №119. – С. 333.
2. Gheithaghy A. M. Effect of Nanostructured Microporous Surfaces on Pool Boiling Augmentation / A. M. Gheithaghy, H. Saffari, G. Q. Zhang // Heat Transfer Engineering. – 2018. — P. 1–10.
3. Zhukov V. I., Pavlenko A. N., Shvetsov D. A. The effect of pressure on heat transfer at evaporation / boiling in horizontal liquid layers of various heights on a microstructured surface produced by 3D laser printing // Int. J. Heat and Mass Transfer. – 2020. – V. 163. – 120488.
4. Zhang S., Jiang X., Li Y., Chen G., Sun Y., Tang Y., Pan C. Extraordinary boiling enhancement through micro-chimney effects in gradient

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА НАГРЕВАТЕЛЯ НА ТЕПЛООБМЕН ПРИ КИПЕНИИ В СЛОЯХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

Д. Г. Чемичев^{1,2}, Д. А. Швецов^{1,2}, В. И. Жуков^{1,2}

¹Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН,

**²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, danchemichev@yandex.ru**

В работе приводятся результаты исследования влияния размера нагревателя на теплообмен при кипении диэлектрической жидкости при различной высоте слоя. В работе использовались два нагревателя размерами: первый трубчатый с креплением к поверхности диаметром 120 мм и нагреватель квадратного сечения размерами $22,7 \times 22,7$ мм². Показано, что при уменьшении размера нагревателя происходит смещение максимума критического теплового потока по сравнению с нагревателем большего размера.

The paper presents the results of a study of the effect of the heater size on heat transfer during boiling of a dielectric liquid at different layer heights. Two heaters were used in the work: the first is tubular with a surface mount with a diameter of 120 mm and a square heater with dimensions of 22.7×22.7 mm². It is shown that when the size of the heater is reduced, the maximum critical heat flux is shifted compared to a larger heater.

Кипение широко используется для эффективного охлаждения поверхностей. Этот метод находит применение в энергетике, включая атомные электростанции, а также в опреснительных установках, работающих на солнечной энергии, и устройствах с фазовым переходом [1-2]. Кипение диэлектрических жидкостей применяется для охлаждения микро- и силовой электроники за счет низкой температуры фазового перехода этих теплоносителей.

Исследования, представленные в работах [3-4], демонстрируют, что площадь поверхности нагрева оказывает значительное влияние на интенсивность теплообмена в процессе кипения. В условиях увеличения размеров нагревательной поверхности наблюдается тенденция к снижению критического теплового потока (КТП). В противоположность этому, при уменьшении площади поверхности нагрева значение КТП увеличивается. В режиме развитого кипения, однако, коэффициент теплоотдачи остаётся практически неизменным независимо от размеров нагревательной поверхности.

КТП является ключевым ограничивающим фактором, он определяет порог теплового потока, при преодолении которого в слое жидкости

происходит осушение или возникает паровая пленка. В результате происходит неконтролируемый рост температуры.

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование влияния высоты слоя жидкости на теплообмен и значения КТП на гладком покрытии с использованием двух поверхностей нагрева диаметром 120 мм и размером $22,7 \times 22,7 \text{ мм}^2$.

Исследование проводилось на двух аналогичных экспериментальных установках. Подробное описание установки с большим нагревателем приведено в [5]. Внутрь рабочей камеры заливался слой рабочей жидкости – HFE-7100. В работе рассматривались слои 1,5 мм, 2,5 мм, 6 мм, 25 мм.

Параллельно с визуальными наблюдениями проводились измерения тепловых потоков. Давление в рабочей камере контролировалось деформационно-ионизационным датчиком вакуума и поддерживалось на постоянном уровне для каждого эксперимента. Плотность теплового потока измерялась двумя методами: на нагревателе диаметром 120 мм использовались медь-константановые термодпары, расположенные в нижней части установки; для нагревателя меньшего размера применялась термографическая съемка с использованием тепловизора FLIR x6530sc.

На рисунке 1 представлено сравнение кривых кипения для поверхности нагрева диаметром 120 мм (1) и размером $22,7 \times 22,7 \text{ мм}^2$ (2). Получено, что для всех высот слоя диэлектрической жидкости HFE – 7100, значения КТП для нагревателя меньшего размера выше, чем для нагревателя 120 мм. Стоит отметить, что влияние высоты противоположно для нагревателей разных размеров. Так у нагревателя размерами $22,7 \times 22,7 \text{ мм}^2$ наибольшее значение теплового потока $q = 313 \text{ кВт/м}^2$ наблюдается у слоя высотой 1,5 мм, слой же 25 мм показал значения теплового потока $q = 202 \text{ кВт/м}^2$. У нагревателя диаметром 120 мм на высоте слоя 2,5 мм значения теплового потока $q = 6 \text{ кВт/м}^2$, а на высоте 25мм $q = 100,9 \text{ кВт/м}^2$. У нагревателя с диаметром 120 мм значения КТП в 52,16 и 2,47 раза меньше, чем у нагревателя с размерами $22,7 \times 22,7 \text{ мм}^2$, для высот 1,5 и 25 мм, соответственно.

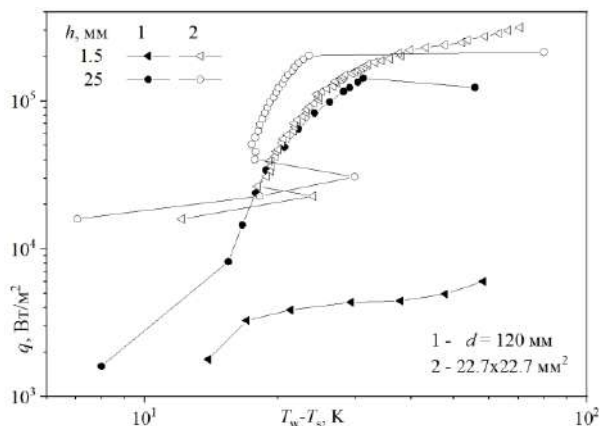


Рис.1 – Зависимости теплового потока от температурного напора, полученные при кипении в слоях HFE-7100 при давлении 100 кПа

При кипении на нагревателях разного размера максимум КТП смещается в сторону нагревателя с меньшими размерами по сравнению с большими. При этом максимальные значения КТП достигаются в тонких слоях жидкости (отличие КТП в слое 1,5 мм и 25 мм составляет 55%).

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ проект № 23-19-00245.

Литература:

1. Li W., Wang Z., Yang F., Alam T., Jiang M., Qu X., Kong F., Khan A.S., Liu M., Alwazzan M., Tong Y., Li C. Supercapillary architecture-activated two-phase boundary layer structures for highly stable and efficient flow boiling heat transfer // *Adv. Mater (c)*. – 2020. – P. 1905117.
2. Jiang M., Wang Y., Liu F., Du H., Li Y., Zhang H., To S., Wang S., Pan C., Yu J., Qu'er'e D., Wang Z. Inhibiting the Leidenfrost effect above 1,000 °C for sustained thermal cooling // *Nature 601 (c)*. – 2022. – P. 568–572.
3. Rainey K. N., You S. M. Effects of heater size and orientation on pool boiling heat transfer from microporous coated surfaces // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2001. – Т. 44. – №. 14. – С. 2589-2599.
4. Kwark S. M. et al. Effects of pressure, orientation, and heater size on pool boiling of water with nanocoated heaters // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2010. – Т. 53. – №. 23-24. – С. 5199-5208.
5. Zhukov V. I., Pavlenko A. N., Shvetsov D.A. The effect of pressure on heat transfer at evaporation / boiling in horizontal liquid layers of various heights on a microstructured surface produced by 3D laser printing // *Int. J. Heat and Mass Transfer*. – 2020. – V. 163. – 120488.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕТУЧИХ РАЗНОЛИГАНДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦИНКА

А. А. Шадрина

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
г. Новосибирск, annashadrina350.shadrina@mail.ru
Научный руководитель: Доровских С. И., к.х.н., с.н.с.

В данной работе были получены комплексы бета-дикетонатов цинка связанных с нейтральным лигандом TMEDA, ([Zn(tmeda)(acac)₂], [Zn(tmeda)(ptac)₂], [Zn(tmeda)(hfac)₂]). Методами ТГ, ЯМР, ИК-спектроскопии и элементного анализа изучены различные физико-химические свойства полученных соединений.

In this work, complexes of zinc beta-diketonates bound to the neutral ligand TMEDA were obtained ([Zn(tmeda)(acac)₂], [Zn(tmeda)(ptac)₂], [Zn(tmeda)(hfac)₂]). Various physico-chemical properties of the obtained compounds have been studied using TG, NMR, IR spectroscopy, and elemental analysis.

Оксид цинка является оптически прозрачным широкозонным полупроводником поэтому применяется во многих областях. Например, для производства компонентов полупроводниковых приборов, УФ-фильтров, датчиков, солнечных батарей. В последние десятилетия, благодаря инженерным разработкам освоен промышленный выпуск новых высокодисперсных форм в виде стержней, наночастиц и плёнок. Основной сферой применения данных веществ является изготовление композиционных материалов системы металл/оксид, которые представляют большой интерес как функциональные защитные материалы [1].

Для формирования тонких оксидных покрытий применяются разнообразные физические и химические методы, каждый из которых обладает уникальными характеристиками и преимуществами. Среди наиболее физических методов получения ZnO выделяется магнетронное распыление, импульсное лазерное осаждение (PLD), среди химических - электрохимическое осаждение, золь-гель, осаждение из растворов. В последние годы перспективными методами осаждения считаются газофазные методы: химическое осаждение из газовой (паровой) фазы с использованием металлоорганических соединений (МОСVD) и атомно-слоевое осаждение. Эти методы открывают доступ к получению тонких слоев с высокой степенью однородности, наночастиц и покрытий контролируемыми свойствами на материалах различной природы и формы. Суть газофазных методов сводится к транспорту летучих прекурсоров, их адсорбции на подложке и разложению в присутствии

реакционных газов. Металлорганические прекурсоры, должны соответствовать критериям:

- Высокая летучесть;
- Стабильность при переходе в газовую фазу и термическая стабильность при транспортировке паров до подложки;
- Контролируемая деструкция паров в зоне осаждения;
- Низкая токсичность, доступность, стабильность при хранении.

β -Дикетоны широко применяются в качестве универсальных лигандов для синтеза летучих прекурсоров благодаря их способности формировать стабильные комплексы с различными металлами. Модификация бета-дикетонов путем введения различных заместителей открывает дополнительные возможности для регулирования структуры и физико-химических свойств комплексов. В частности, фторированные дикетоны эффективно повышают летучесть прекурсора, одновременно снижая его температуру плавления.

Комплексы цинка с β -дикетонами лигандами, склоны к олигомеризации или присоединению воды, поэтому возникает необходимость в дополнении координационного окружения металла нейтральными лигандами такими как диамины, среди которых одним из наиболее востребованных является *tmeda* - N,N,N',N'-тетраметилэтилендиамин.

Целью данной работы является синтез летучих разнолигандных бета-дикетонатов цинка $Zn(L)_2$ (L – асac(бис(ацетилацетонато- k^2 O,O')), ptac(бис(1,1,1-трифтор-5,5-диметил-2,4-гександионат)), hfac(бис(1,1,1,5,5,5-гексафтор-2,4-пентандионат))) с *tmeda* и их характеристика с использованием элементного анализа, ЯМР-, ИК-спектроскопии.

Синтез комплексов приводили по реакции замещения $[Zn(L)_2(H_2O)_2]$ (2,633 моль) с двухкратным избытком *tmeda* (5,266 моль) в гексане при перемешивании. Синтез проводили в течение 2 ч, после чего растворитель упаривали на воздухе, а продукты очищали методом сублимации (80-100°C, 0,04 мБар). Выходы 20-65% [2]. **$Zn(tmeda)(acac)_2$** - для $C_{16}H_{30}O_4N_2$ Zn вычислено C, 50,6; H, 8,0; N, 7,4; найдено C, 50,4; H, 7,8; N, 7,2. **ЯМР**, δ , ppm (Bruker Avance 500, ^1H : 500.129 МГц). ^1H спектр ($CDCl_3$, 7.26 ppm): 5.23 (s, 2H, CH, acac), 2.51 (m, 4H, CH_2 , *tmeda*), 2.34 (s, 12H, CH_3 , *tmeda*), 1.91 (s, 6H, CH_3 -CO, acac), 1.63 (s, 6H, CH_3 -CO, acac). **ИК**: ν : 3321 w, 3163w, 2939 w, 2810 w, 2735 w, 2642 w, 2557 w, 2414 w, 2297 w, 2146 w, 2083, 1994, 1905 m, 1554 m, 1502 w, 1444 w, 1300 w, 1267 w, 1207w, 1137m, 1110 s, 1083 s, 1047 s, 970 s, 943 s, 837 s, 785 s, 686 s, 603 s, 568 s, 503 s, 460 s, 428 s cm^{-1} .

Zn(tmeda)(ptac)₂ - ЯМР, δ , ppm (Bruker Avance 500, ¹H: 500.129 МГц). ¹H спектр (CDCl₃, 7.26 ppm): 5.67 (s, 2H, CH, ptac), 2.63 (m, 4H, CH₂, tmeda), 2.38 (s, 12H, CH₃, tmeda), 1.56 (s, 9H, CH₃, ptac). ИК: ν = 3308 w, 3203 w, 3138 w, 3099 w, 2943 w, 2827 w, 2765 m, 2679 m, 2528 m, 2403 m, 2266 m, 2177 m, 2079 m, 2009 m, 1934 m, 1593 w, 1413 w, 1379 w, 1344 w, 1267 w, 1217 w, 1149 w, 1065 s, 1042 s, 980 s, 905 s, 822 s, 777 s, 743 s, 718 s, 629 s, 536 s, 507 s, 422 s cm⁻¹.

Zn(tmeda)(hfac)₂ - для C₁₆H₃₆O₄N₂F₁₂ Zn вычислено C, 31,6; H, 5,9; N, 4,6; F, 37,1; найдено C, 31,3; H, 5,8; N, 4,4; F, 37,2. ЯМР, δ , ppm (Bruker Avance 500, ¹H: 500.129 МГц). ¹H спектр (CDCl₃, 7.26 ppm): 5.96 (s, 2H, CH, hfac), 2.76 (m, 4H, CH₂, tmeda), 2.45 (s, 12H, CH₃, tmeda). ИК: ν = 3143 w, 3022 w, 2989 w, 2935 w, 2906 w, 2814 w, 1651 m, δ =1555 m, 1530 m, 1468 m, 1414 w, ν =1346 m, 1261 m, 1194 m, 1142 m, 1101 m, 1049 m, 1028 m, 951 m, δ = 795 s, 766 s, 741 s, 496 s, 465 s cm⁻¹.

Результаты ТГ-анализа для Zn(tmeda)(acac)₂ и Zn(tmeda)(hfac)₂ представлены на рисунке 1.

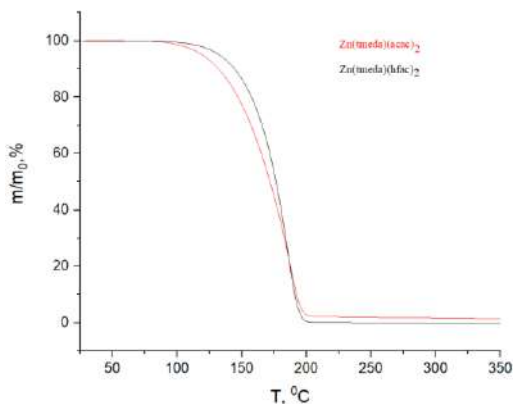


Рис. 4 – ТГ-анализ комплексов Zn(tmeda)(acac)₂ и Zn(tmeda)(hfac)₂

В результате работы были получены разнолигандные комплексы бета-дикетонатов цинка ([Zn(tmeda)(acac)₂], [Zn(tmeda)(ptac)₂], [Zn(tmeda)(hfac)₂]) и охарактеризованы при помощи элементного анализа, ЯМР- и ИК-спектроскопий. Помимо этого, был проведен ТГ-анализ, который свидетельствует о том, что исследуемые комплексы Zn(tmeda)(acac)₂ и Zn(tmeda)(hfac)₂ демонстрируют сопоставимые показатели летучести, что снижает необходимость введения дополнительных фторированных заместителей.

Литература:

1. Использование оксида цинка в качестве наполнителя защитных материалов электронных приборов аэрокосмического назначения / А. В. Куприяшов, А.В. Пронин, С.В. Телегин, И.Я. Шестаков. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сб. материалов IX междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Дню космонавтики, Красноярск 10–14 апреля 2023 г. – Красноярск: Изд-во СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2023 – Т. 1 – С. 561-563.
2. Halz, J.H. Syntheses and crystal structures of three $[M(acac)_2(TMEDA)]$ complexes ($M = Mn, Fe$ and Zn) / J. H. Halz, C. Heiser, C. Wagner, K. Merzweiler. // Acta Crystallographica. – 2020. – Vol. 76. – pp. 66-71.

ПОЛУЧЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛИН-СОДЕРЖАЩЕГО КРАСИТЕЛЯ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ ABIES SIBIRICA

Е. Ю. Шахворостова¹, Е. А. Авдеенко², А. В. Старосветский²

Руководитель организации: Авдеенко Е. А.², к.х.н., н.с.

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Новосибирский институт органической химии

им. Н. Н. Ворожцова СО РАН,

ekaterinasahvorostova791@gmail.ru

В данной работе разработан способ получения хлорофиллин-содержащего красителя E141 из отходов переработки древесной зелени пихты сибирской Abies sibirica. Получение осуществлялось экстракцией пигментов метил-трет-бутиловым эфиром с последующим щелочным гидролизом экстракта и получением стабильного медного комплекса хлорофиллина путем замещения иона магния на медь. Установлено, что полученный краситель соответствует по составу пищевой добавке E141(ii) и имеет содержание красящих веществ, сопоставимое с коммерческим аналогом.

In this work, a method has been developed to obtain chlorophylline-containing dye E141 from the waste of wood greenery processing of the Siberian fir Abies sibirica. The production was carried out by extracting the pigments methyl-tetrabutyl ether with subsequent alkaline hydrolysis of the extract and obtaining a stable copper chlorophylline complex by replacing the magnesium ion with copper. It was established that the resulting dye conforms to the composition of food additive E141(ii) and has a colorant content comparable with the commercial analog.

Древесная зелень (ДЗ) пихты, представляющая собой хвою, побеги и почки, является крупнотоннажным отходом лесозаготовки и деревообработки. Это возобновляемое и доступное сырье содержит

значительное количество хлорофиллов, каротиноидов и других биологически активных веществ, что делает ее ценным ресурсом и потенциальным источником важных биологически-активных компонентов для различных отраслей промышленности: пищевой, косметической, сельскохозяйственной и других. Использование этого сырья для получения пищевых красителей, соответствует принципам «зеленой» химии и экономики за счет того, что позволяет увеличить глубину переработки растительного сырья, снизить количество отходов и повысить выход ценных органических соединений [1,2].

Первоначальным этапом является подготовка древесной зелени, которая включает ее измельчение для увеличения площади контакта с растворителем. Согласно технологическим схемам, процесс экстракции пигментов проводится с использованием органических растворителей, таких как бензин, ацетон, МТБЭ, ИПС, гексан или этанол. Оптимальные параметры процесса (температура, продолжительность, кратность извлечения) подбираются для достижения максимального выхода хлорофилла [1,3]. Ключевым процессом является модификация природного хлорофилла. Нестабильный магний в центре молекулы хлорофилла замещается на ионы меди, что придает комплексу высокую химическую и фотостабильность, а также интенсивную зеленую окраску. Процесс, описанный в патентной литературе, включает следующие основные стадии: щелочной гидролиз экстракта (омыление) с образованием водорастворимых производных хлорофилла – хлорофиллинов, последующее взаимодействие с сульфатом меди для образования нерастворимого комплекса меди, его очистка и перевод в раствор карбоната или гидроксида натрия [2]. Исследования подтверждают, что именно такая последовательность реакций позволяет получить продукт с высоким выходом и стандартными характеристиками [3].

Пищевые хлорофиллин-содержащие красители E140 и E141 представляют собой порошок или жидкость темно-зеленого цвета и применяемые в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности [3]. Данные красители могут быть получены из древесной зелени пихты сибирской. Широко известен способ получения хлорофилл-каротиновой пасты из ДЗ пихты (ГОСТ 21802-84), однако выделению хлорофилл-содержащих пищевых красителей в индивидуальном виде из данного типа сырья в научной и патентной литературе уделено недостаточное внимание.

В связи с этим, целью настоящей работы являлась разработка способа получения пищевого красителя E141 хлорофиллина меди-натрия из отходов переработки пихты сибирской *Abies sibirica*.

Древесная зелень пихты сибирской измельчалась на ножевой лабораторной дробилке до получения частиц со средним размером частиц 1 мм. Данное действие выполнялось для увеличения площади поверхности растительного сырья и интенсификации экстракции красителей. Экстракция осуществлялась метил-трет-бутиловым эфиром при комнатной температуре в течение 24 часов. Полученный экстракт упаривался в лабораторном вакуумном-ротационном испарителе до полного удаления растворителя, осуществлялась двукратная гидродистилляция остатка для удаления скипидарных примесей с неприятным запахом. Омыление восковых частей суммарного экстракта ДЗ пихты осуществлялось раствором гидроксида натрия в 88 масс. % изопропанолe при температуре 75°C в течение 2 часов. Полученный продукт омыления направлялся на дальнейшую переработку в других процессах, а оставшийся в колбе пастообразный осадок зеленого цвета, представляющий собой водорастворимые формы хлорофилла и хлорофиллина, направлялся на дальнейшую обработку. Хлорофиллин-содержащий осадок растворялся в дистиллированной воде при перемешивании и нагревании, в последующем к нему добавлялся водный раствор сульфата меди, что приводило к образованию осадка хлорофиллина меди с последующей очисткой от примесей. Полученный очищенный осадок обрабатывался раствором гидроксида натрия для получения конечной формы хлорофиллина меди-натрия. Краситель упаривался на вакуумном-ротационном испарителе до достижения содержания красящих веществ, близких к коммерчески-доступным аналогам.

ГОСТ 35272-2025 устанавливает методы идентификации и определения массовой доли основных красящих веществ пищевых хлорофиллин-содержащих красителей. Данный стандарт использовался для определения состава получаемого продукта и коммерческого аналога. Метод основан на определении положения максимумов светопоглощения и соответствующих им значений оптических плотностей, полученных при измерении спектра раствора красителя, спектрофотометрическим методом.

По результатам проведенных исследований было показано, что краситель, полученный в результате переработки древесной зелени пихты сибирской *Abies sibirica* по описанной схеме, представляет собой преимущественно медные комплексы хлорофиллинов, что соответствует пищевой добавке E141(ii), и содержит незначительное количество медных комплексов хлорофиллов, что соответствует пищевой добавке E141(i). Коммерческий аналог пищевого красителя E141 содержит только медные комплексы хлорофиллинов E141(ii).

Содержание красящих веществ, определенных спектрофотометрическим методом, составляет более 30 масс. % для разработанного и коммерческого образцов, что позволяет говорить о близкой красящей способности полученных продуктов в качестве пищевых красителей.

Таким образом, по результатам выполненной работы из отходов переработки пихты сибирской *Abies sibirica* был получен зеленый водорастворимый краситель, представляющий собой комплекс хлорофиллин меди-натрия с содержанием красящих веществ по ГОСТ 35272-2025. Данный краситель соответствует по своему составу пищевой добавке E141(ii) и может рассматриваться как продукт глубокой комплексной переработки отходов древесной зелени пихты с получением компонентов для пищевой промышленности.

Литература:

1. Гаврилова Е. В. Разработка технологии хлорофилл-содержащих препаратов из древесной зелени пихты: дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018. – 145 с.
2. Пертова Н. А., Самойлова Е. С., Домрачева А. Г. Исследование состава и свойств хлорофилл-содержащих препаратов из пихты сибирской // Химия растительного сырья – 2012. – № 3. – С. 95–100.
3. Шамшин В. П., Гаврилова Е.В., Скоробогатова М.В. Исследование процесса получения хлорофиллин-медно-натриевого комплекса из древесной зелени пихты // Известия вузов. Лесной журнал – 2017. – № 6. – С. 145–155.
4. Патент RU 2650619 С1. Способ получения хлорофиллин-медно-натриевого комплекса из древесной зелени ели и пихты / Шамшин В.П., Гаврилова Е.В., Скоробогатова М.В. и др.

ИК-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ И КРИЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ, ИМИТИРУЮЩЕЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЧИП

А. И. Швабауэр¹, Д. А. Швецов^{1,2}, А. В. Михайлов^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, shvabauer_artur@mail.ru

Проведено экспериментальное исследование процессов кипения и кризисных явлений на нагревательной поверхности, имитирующей компьютерный чип, с использованием инфракрасной визуализации. В качестве рабочей жидкости

использован диэлектрик HFE-7100. В ходе эксперимента зафиксировано образование и развитие «сухого пятна». Показано, что рост температуры поверхности со 100 °C до 143 °C сопровождается распространением зоны перегрева. Полученные данные важны для разработки систем иммерсионного охлаждения высокопроизводительной электроники.

An experimental study of boiling processes and crisis phenomena on a heating surface simulating a computer chip was conducted using infrared imaging. HFE-7100 dielectric was used as the working fluid. The formation and development of a "dry spot" was recorded during the experiment. It was shown that an increase in surface temperature from 100°C to 143°C is accompanied by the spread of the overheating zone. The obtained data are important for the development of immersion cooling systems for high-performance electronics.

Повышение эффективности охлаждения высокопроизводительных процессоров — одна из ключевых проблем современной микроэлектроники. Используемые системы воздушного охлаждения приближаются к пределу своей производительности, в связи с чем все более привлекательной альтернативой становится технология иммерсионного охлаждения. Обеспечение стабильного и надежного функционирования микроэлектронных устройств напрямую зависит от возможности поддержания их рабочей температуры в строго заданных пределах.

Режим пузырькового кипения обладает значительным преимуществом перед иными способами охлаждения, поскольку позволяет достигать высоких коэффициентов теплоотдачи при умеренном перегреве поверхности [1]. Традиционные методы анализа кипения, основанные на высокоскоростной съёмке в видимом спектре сверху или сбоку, сталкиваются с рядом ограничений. К ним относятся необходимость подсветки, искажения, вносимые парожидкостной средой.

Перспективность высокоскоростной ИК-съёмки с нижней ракурсной точки для анализа кипения заключается в возможности синхронного исследования динамики парообразования и тепловых характеристик непосредственно в зоне контакта жидкости и нагревателя. Данная методика позволяет проводить бесконтактные измерения температурного распределения на границе раздела фаз и фиксировать быстропотекающие процессы, критически важные для эффективности теплообмена: активность центров парообразования, формирование и динамику «сухих пятен», а также зарождение сплошной паровой пленки при кризисе кипения. Эти возможности важны для развития иммерсионного охлаждения, где высокая эффективность теплосъема достигается за счет кипения жидкости в непосредственном контакте с нагретыми элементами [2].

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование динамики процессов кипения и возникновения кризисных явлений на нагревательной поверхности, имитирующей чип, с использованием высокоскоростной ИК-визуализации.

Эксперименты проводились с применением теплоносителя HFE-7100 – метокси-нонафторбутан (3M™ Novec™ 7100). HFE-7100 представляет собой прозрачную бесцветную жидкость со слабым запахом, является диэлектриком и имеет низкое давление насыщенного пара при комнатной температуре [3,4].

Рабочий участок представляет собой нагреватель размерами 22.7x22.7 мм² который наносится на подложку из кремния (толщина ~ 700–800 мкм). Материал нагревателя – оксид-индия олова (рис. 1). Токоподводы – серебро.

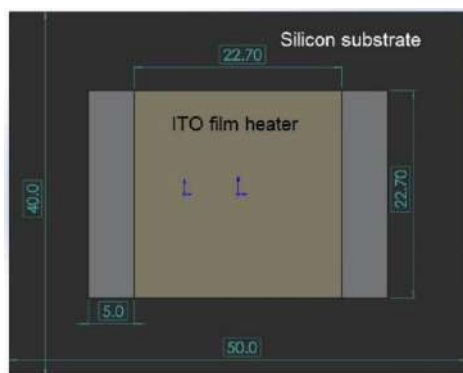


Рис. 1– Рабочий участок 22.7x22.7 мм² на кремниевой подложке

График на рис. 2 иллюстрирует рост температуры при образовании «сухого пятна». Наблюдается резкий скачок температуры с 85°C до 143°C в течение 2 секунд, что является характерным признаком наступления кризиса кипения.

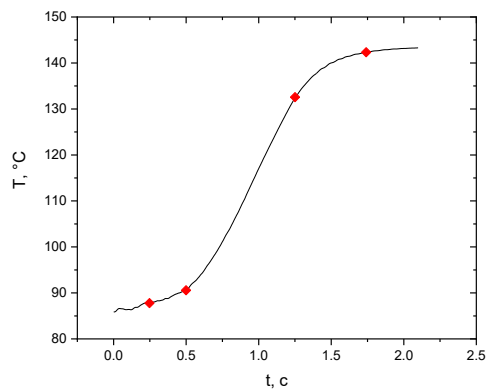


Рис. 2 – Зависимость температуры от времени при давлении 100 кПа

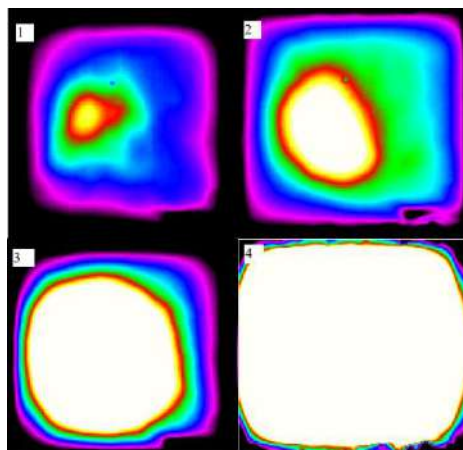


Рис. 3 – Кадры ик-съёмки кризиса кипения и образования сухого пятна:
1 – 0.25 с; 2 – 0.5 с; 3 – 1.25 с; 4 – 1.75 с

На рисунке 3 представлены ИК-изображения, показывающие процесс формирования и развития «сухого пятна».

На кадре 1 наблюдается неоднородное температурное поле поверхности. Участки интенсивного теплоотвода (синий цвет) соседствуют с локальной областью перегрева «сухим пятном» (желтый цвет).

На последующих кадрах зафиксирован рост «сухого пятна», сопровождающийся значительным повышением температуры со 100 °C до 143 °C.

На последнем кадре «сухое пятно» охватывает практически всю поверхность, что приводит к образованию стабильной паровой пленки, которая препятствует эффективному теплообмену.

Метод высокоскоростной ИК-визуализации подтвердил свою эффективность для исследования локальных процессов кипения на микронагревателе, позволяя одновременно анализировать динамику парообразования и распределение температуры. Экспериментально зафиксирован механизм кризиса кипения, который инициируется формированием локального «сухого пятна» с последующим его распространением по поверхности нагревателя. Переход к пленочному кипению сопровождается резким ростом температуры – с 90 °С до 143 °С. Распределение активных центров кипения является ключевым фактором, определяющим момент наступления кризиса теплообмена, что доказывает необходимость активного управления им для обеспечения надежности систем охлаждения микрочипов.

Исследования выполнены за счёт средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-19-00245)

Литература:

1. Murshed S. M. S., de Castro C.A.N. A critical review of traditional and emerging techniques and fluids for electronics cooling // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Т. 78. – С. 821–833.
2. Noh H. et al. Effective and uniform cooling on a porous micro-structured surface with visualization of liquid/vapor interface // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2019. – Т. 128. – С. 1114-1124.
3. 3M™ Novec™ Engineered Fluid HFE-7100 Physical Properties.
4. Qi H. et al. Liquid density of HFE-7000 and HFE-7100 from T=(283 to 363) K at pressures up to 100 MPa // The Journal of Chemical Thermodynamics. – 2014. – Т. 77. – Р. 131-136.

ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СУЛЬФАТОМ НИКЕЛЯ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

А. М. Яковлева, В. В. Головахин, А. Г. Баннов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ynm6555@yandex.ru**

В работе исследовано влияние двухстадийной химической модификации (окисление в HNO_3 с последующей обработкой в сульфате никеля) на удельную электрохимическую емкость многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ)

марок MWNT-1020 и MWNT-4060. Методом циклической вольтамперометрии установлено, что вторичная функционализация в сульфамате никеля значительно увеличивает удельную емкость. Выявлена зависимость электрохимических характеристик от времени модификации: для MWNT-1020 максимальная емкость ($83,9 \text{ Ф} \cdot \text{г}^{-1}$ при $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$) достигнута после 6 ч обработки, в то время как для MWNT-4060 пик емкости ($77,6 \text{ Ф} \cdot \text{г}^{-1}$ при $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$) наблюдался после 3 ч, с последующей деградацией при более длительной обработке.

This study investigates the effect of a two-stage chemical modification (oxidation in HNO_3 followed by treatment in nickel sulfamate) on the specific electrochemical capacitance of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) of grade MWNT-1020 and MWNT-4060. Cyclic voltammetry measurements revealed that secondary functionalization in nickel sulfamate significantly enhances the specific capacitance. The dependence of electrochemical properties on modification time was established: for MWNT-1020, the maximum capacitance ($83.9 \text{ F} \cdot \text{g}^{-1}$ at $2 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$) was achieved after 6 hours of treatment, whereas for MWNT-4060, the peak capacitance ($77.6 \text{ F} \cdot \text{g}^{-1}$ at $2 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$) was observed after 3 hours, followed by degradation with longer processing times.

Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) обладают уникальными электрофизическими, теплофизическими, химическими свойствами. Эти свойства можно улучшать путём различных методов модификаций поверхности. Одним их таких методов является химическая обработка. Функционализацию МУНТ можно разделить на первичную и вторичную. На первой стадии формируются кислородсодержащие функциональные группы. На второй стадии прививают азотсодержащие компоненты или любые другие [1]. На первой стадии проводилось травление в концентрированной азотной кислоте при нагреве 80°C и постоянном перемешивании. Таким образом было сделано 6 образцов с диапазоном времени от 1 до 6 ч с интервалом в 1 ч. На второй стадии процесса продукт первого этапа обрабатывали в сульфамате никеля, также при 80°C , постоянном перемешивании в течение 1-6 ч с интервалом в 1 ч. Схема методики эксперимента представлена на рисунке 1.

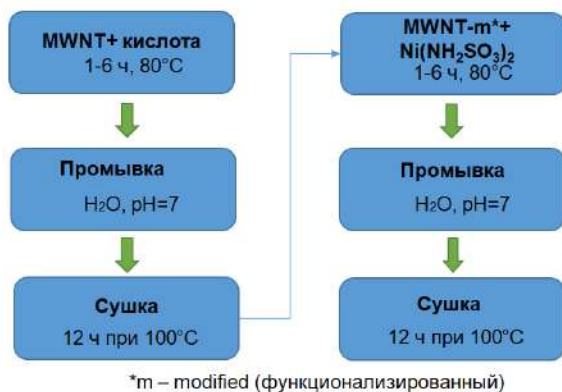


Рис.1 – Схема модификации поверхности МУНТ

Для расчета удельной электрической емкости исследуемых образцов были проведены измерения методом циклической вольтамперометрии при различной скорости развертки потенциала (2, 5, 10 мВ·с⁻¹). Вольтамперные кривые регистрировали с использованием потенциостата-гальваностата Р-40Х (Россия). Для измерений использовали трехэлектродную схему. Вспомогательный электрод – Pt, электрод сравнения – Ag/AgCl (насыщенный KCl). Потенциалы в работе приведены относительно хлорсеребряного электрода Ag/AgCl. Удельную емкость исследуемых углеродных материалов определяли по формуле:

$$C_{уд} = \frac{J}{Vm},$$

где $C_{уд}$ – удельная емкость, Ф·г⁻¹; J – сумма катодного и анодного токов ($J = J_k + J_a$) при 500 мВ, мА; m – масса материала, г; V – скорость развертки, мВ·с⁻¹. Далее электроды погружали в 3,5 М раствор серной кислоты и с помощью прямой вольтамперметрии регистрировали ЦВА кривые при изменении электрического потенциала на рабочем электроде от -100 до 1000 мВ. Погрешность задатчика скорости развертки – 1,0 %, погрешность задатчика потенциала – 0,03 мВ.

Удельная емкость для образцов MWNT-1020 и MWNT-4060, модифицированных только в азотной кислоте на протяжении 6ч, при 2 мВ·с⁻¹ составляет 9 и 0,1 Ф·г⁻¹ соответственно.

Таблица 1 – Результаты ЦВА

Образец	t, ч	$C_{уд}, \text{Ф} \cdot \text{г}^{-1}$		
		$10 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$	$5 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$	$2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$
MWNT- 020	6	59,8	69,2	83,9
	5	4,9	5,92	4,9
	4	16,1	20,8	28,8
	3	7,6	8,6	16,2
	2	7,7	6,9	17,3
	1	6,8	8,4	12,2
MWNT- 060	6	16,3	18,3	25,4
	5	27,0	30,3	37,8
	4	23,1	46,1	57,7
	3	23,9	47,7	77,6
	2	22,6	23,1	57,7
	1	12,4	18,6	32,8

Из таблицы 1 видно, что при вторичной функционализации МУНТ значительно увеличивается значение удельной емкости после модификации в сульфамате никеля. Для всех образцов, кроме MWNT-1020, обрабатываемых в течение 5 ч, наблюдается общая тенденция: удельная емкость возрастает при уменьшении скорости сканирования. Это типичное поведение для электрохимических суперконденсаторных материалов, указывающее на то, что при более низких скоростях ионы электролита имеют больше времени для проникновения в пористую структуру и доступа к активным центрам [2]. Пик емкости для MWNT-1020 наблюдается при 6 ч обработки ($83,9 \text{ Ф} \cdot \text{г}^{-1}$ при $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$). Однако есть резкое падение емкости при 5 ч обработки (до $4,9 \text{ Ф} \cdot \text{г}^{-1}$ при $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$), что может указывать на стадию переокисления и повреждения структуры или агломерации, после которой при дальнейшем увеличении времени (6 ч) структура восстанавливается или оптимизируется для максимальной емкости. Для MWNT-4060 удельная емкость сначала возрастает с увеличением времени обработки, достигая максимума при 3-4 ч. Максимальная емкость для MWNT-4060 наблюдается при 3 ч обработки ($77,6 \text{ Ф} \cdot \text{г}^{-1}$ при $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$), а затем начинает снижаться при 5 и 6 ч. Это говорит о том, что для данного типа нанотрубок оптимальное время функционализации короче, и более длительная обработка приводит к деградации электрохимических свойств.

Литература:

1. Дьячкова Т. П., Ткачев А. Г. Методы функционализации и модифицирования углеродных нанотрубок [Текст] / Т. П. Дьячкова, А. Г. Ткачев. – М.: Издательский дом «Спектр», 2013. – 152 с.
2. Захаров Ю. А., Качина Е. В., Федорова Н. М., Ларичев Т. А., Сименюк Г. Ю., Пугачев В. М., Додонов В. Г., Зайцева Е. Ю., Якубик Д. Г., Михайлова Е. С. Морфология и электрохимические свойства наноструктурированного композита $\text{Co}_x\text{Ni}_{(1-x)}(\text{OH})_2/\text{МУНТ}$ на основе углеродных нанотрубок [Текст] / Ю. А. Захаров, Е. В. Качина, Н. М. Федорова, Т. А. Ларичев, Г. Ю. Сименюк, В. М. Пугачев, В. Г. Додонов, Е. Ю. Зайцева, Д. Г. Якубик, Е. С. Михайлова – Химия в интересах устойчивого развития – 2019 Т. 27, с. 590–597.

Секция АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ;
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

**ВЛИЯНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА
ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ НА СВОЙСТВА $\text{Mn}_{0,665}\text{Zn}_{0,212}\text{Fe}_{2,123}\text{O}_4$
КЕРАМИКИ**

М. Ю. Агафонов, А. А. Миллер, Р. Р. Хабиров
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, agafonov.2020@stud.nstu.ru
Научный руководитель: Кузьмин Р. И., к.т.н., доцент

В данной работе был проведен комплекс исследований по выявлению влияния парциального давления кислорода при спекании марганец-цинковых ферритов на максимальную магнитную индукция B_m , коэрцитивную силу H_c , кажущуюся плотность $\rho_{\text{каж}}$ и удельные магнитные потери P . Установлено, что применение окислительных условий охлаждения приводит к росту магнитных потерь в сильных магнитных полях. Наименее окислительные условия охлаждения для серии 1, привели к снижению значений коэрцитивной силы H_c на 45 % и удельных магнитных потерь P на 57,7 %, а также повышению амплитудной магнитной проницаемости μ_a в 3 раза.

This work conducted a comprehensive study to identify the influence of oxygen partial pressure during the sintering of manganese-zinc ferrites on the maximum magnetic induction B_m , coercive force H_c , apparent density ρ_{app} , and specific magnetic losses P . It was established that the use of oxidizing cooling conditions leads to an increase in magnetic losses in strong magnetic fields. The least oxidizing cooling conditions for series 1 resulted in a 45% decrease in coercive force H_c , a 57.7% decrease in specific magnetic losses P , and a 3-fold increase in amplitude magnetic permeability μ_a .

Ферритовые материалы являются керамикой, получаемой синтезом оксида железа и оксидов других металлов. Силовые марганец-цинковые ферритовые материалы применяются в трансформаторах для силовой электроники [1].

Структура и свойства Mn-Zn ферритов во многом зависят от содержания кислорода в атмосфере спекания на этапе охлаждения заготовок от температуры спекания. При температурах ниже 1200 °С Mn^{2+} окисляется до Mn^{3+} , поэтому охлаждение необходимо проводить с постоянным снижением PO_2 [1]. С одной стороны, содержание кислорода должно быть достаточно низким, чтобы обеспечить сохранение однофазной структуры материала. С другой стороны, недостаток

кислорода способствует значительному росту магнитных потерь в результате снижения электрического сопротивления материала.

Как правило, программу изменения PO_2 подбирают экспериментально в зависимости от соотношения катионов железа и марганца и условий эксплуатации материала. Известные зависимости свойств от соотношения исходных оксидов и изменения коэффициента снижения парциального давления кислорода носит не линейный характер. Поэтому, одной из проблем получения Mn-Zn ферритов является сложность выбора начального ориентировочного режима охлаждения для дальнейшего детального подбора.

Для получения $Mn_{0,665}Zn_{0,212}Fe_{2,123}O_4$ в качестве исходного сырья были использованы Fe_2O_3 , ZnO и $MnCO_3$. Помол порошковых смесей проводили в водной среде стальными мелющими телами. После помола смесь высушивали и проводили предварительную термическую обработку при $1000\text{ }^{\circ}C$. После термической обработки порошок подвергался повторному помолу в шаровой мельнице. После помола в суспензию вводили пластификаторы, связующие добавки и проводили грануляцию с медленной сушкой. Для получения кольцевых образцов было использовано одноосное прессование. Перед спеканием проводили выжигание связующих добавок. Спекание производили в трубчатой печи при температуре $1300\text{ }^{\circ}C$. В процессе спекания изменялось парциальное давления кислорода по 3 различным режимам охлаждения.

Для измерения магнитных свойств на образцы кольцевой формы наносили изолирующее покрытие и медную проволоку. После чего производили измерения индуктивности L . На основании полученных данных рассчитывали начальную магнитную проницаемость μ_n . Так же производили измерения коэрцитивной силы H_c , максимальной магнитной индукции B_m , амплитудной магнитной проницаемости μ_a и удельных магнитных потерь P материалов на приборе DX-2012SA. Измерения проводили при напряженности магнитного поля 1200 A/m и частоте перемагничивания 10 кГц . Кажущуюся плотность $\rho_{\text{каж}}$ определяли гидростатическим методом.

Для определения режима охлаждения использовалось уравнение снижения парциального давления кислорода (1).

$$\ln(PO_2) = C_1 - \frac{14500}{T} \quad (1)$$

При расчете программ снижения PO_2 использовались коэффициенты C_1 равные 7; 10; 12. Коэффициенты были выбраны на основе расчета равновесного парциального давления кислорода для состава $Mn_{0,665}Zn_{0,212}Fe_{2,123}O_4$ и двух неравновесных состояний.

Установлено, что более окислительные условия охлаждения привели к повышению $\rho_{\text{каж}}$ и H_c , с понижением B_m (таблица 1).

По литературным данным, применение более окислительных условий охлаждения способствует росту содержания катионов Fe^{3+} в кристаллической решетке феррита [2]. Предполагается, что снижение B_m для образцов серии 3 объясняется увеличением избытка Mn^{3+} и Fe^{3+} в подрешетке А шпинели. За счет повышения магнитного момента подрешетки А суммарный магнитный момент решетки снижается, что и вызывает снижение B_m .

Таблица 1 – Зависимость значений B_m , H_c , $R_{\text{общ}}$ и $\rho_{\text{каж}}$ от C_1

Серия (Коэффициент C_1)	Максимальная магнитная индукция B_m , мТл	Коэрцитивная сила H_c , А/м	Кажущаяся плотность $\rho_{\text{каж}}$, г/см ³	Удельные магнитные потери P , Вт/кг
1 (7)	459	46	4,55	167
2 (10)	460	64	4,64	215
3 (12)	363	84	4,86	395

Среди исследованных материалов наилучший комплекс свойств показали образцы серии 1, так как они имели самую низкую H_c и незначительно отличались по B_m от образцов серии 2.

Увеличение коэффициента C_1 для серии 3 привело к повышению удельных магнитных потерь с 167 до 395 Вт/кг при магнитной индукции 200 мТл и частоте измерений 100 кГц. Такой результат согласуется с результатами работы [3]. Увеличение удельных магнитных потерь обусловлено увеличением содержания Mn^{3+} в кристаллической решетке феррита. Трехвалентные ионы марганца увеличивают проводимость феррита и приводят к повышению удельных магнитных потерь [1].

Изменение условий охлаждения на более окислительные привело к снижению μ_a с 2430 до 820 при 200 мТл и оказало влияние на температурную зависимость μ_n . Более окислительная программа охлаждения приводит к снижению величины μ_n с 1830 до 530 при 25 °С. Температурная зависимость становится плавной, без ярко выраженного максимума. Снижение μ_n связано с увеличением избытка катионов Fe^{3+} [3].

По результатам исследования наиболее низкие удельные магнитные потери 167 Вт/кг показали образцы серии 1. Также данные образцы

имели наименьшую коэрцитивную силу $H_c = 46$ А/м и наибольшую амплитудную магнитную проницаемость $\mu_a = 2430$.

Литература

1. Шольц Н. Н. Ферриты для радиочастот / Н. Н. Шольц, К. А. Пискарев. М.: Энергия, 1966. – 259 с.
2. Третьяков Ю.Д. Термодинамика ферритов. Л. Химия, 1967. – 304 с.
3. High permeability–high frequency stable MnZn ferrites/ J. Kalarus, G. Kogias, D. Holz, V.T. Zaspalis// Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2012. – Vol. 324, iss 18. – P. 2788-2794. – doi: 10.1016/j.jmmm.2012.04.011.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СПЛАВА $Ti(Al_{1-x}Cr_x)_3$ ПУТЕМ ИЗУЧЕНИЯ ДИФФУЗИОННОЙ ПАРЫ $TiAl_3$ -Cr

Н. С. Александрова¹

¹Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, aleksandrovanatalie99@gmail.com

Научный руководитель: Лазуренко Д. В., д.т.н., доцент

В работе представлены результаты исследования диффузионной пары $TiAl_3$ -Cr, полученной электроискровым спеканием. Посредством синхротронной рентгеновской дифракции установлено, что взаимодействие компонентов диффузионной пары приводит к формированию слоев $Ti(Al_{1-x}Cr_x)_3$ ($L1_2$ модификация $TiAl_3$), Cr_2Al и Cr_5Al_8 . Измерение элементного состава слоя $Ti(Al_{1-x}Cr_x)_3$ на растровом электронном микроскопе показало, что $L1_2$ структура стабилизированного хромом $TiAl_3$ должна иметь стехиометрию близкую к $Ti_{25.5}Cr_{8.5}Al_{66}$.

The work presents the results of an investigation of the $TiAl_3$ -Cr diffusion couple obtained by spark plasma sintering. Using synchrotron X-ray diffraction, it was found that the interaction between the components of the diffusion couple resulted in the formation of $Ti(Al_{1-x}Cr_x)_3$ ($L1_2$ modification of $TiAl_3$), Cr_2Al , and Cr_5Al_8 layers. Measurements of the elemental composition of the $Ti(Al_{1-x}Cr_x)_3$ layer using a scanning electron microscope revealed that the $L1_2$ structure of chromium-stabilized $TiAl_3$ should have a stoichiometry close to $Ti_{25.5}Cr_{8.5}Al_{66}$.

Триалюминид титана ($TiAl_3$) – перспективный материал для аэрокосмической и авиационной отраслей промышленности, однако его широкому применению препятствует чрезвычайная хрупкость при комнатной температуре (~ 2 МПа·м^{1/2} [1]), обусловленная тетрагональной $D0_{22}$ структурой. Решением проблемы является легирование переходными металлами (Me) такими как Cr, Mn, Fe, Co, Ni,

Си и рядом других с целью стабилизации кубической $L1_2$ фазы $Ti(Al_{1-x}Me_x)_3$. Такая трансформация позволяет значительно повысить трещиностойкость. Например, для сплавов с хромом уровень трещиностойкости может достигать $11 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [2].

Вместе с тем ключевой проблемой сплавов с $L1_2$ структурой становится выделение вторичных интерметаллидных фаз. Согласно исследованию J. R. Nis и др. [3] в стабилизированном хромом сплаве наблюдали выделение вторичных фаз Cr_2Al и $TiCrAl$, присутствие которых негативным образом отразилось на стойкости материала к растрескиванию. В связи с этим для достижения наилучших пластических свойств следует стремиться к однофазной $L1_2$ структуре. Однако существующие данные по областям гомогенности тройных систем $Ti-Al-Me$ ограничены и часто противоречивы [4], что определяет актуальность настоящего исследования, направленного на уточнение границ фазового поля $L1_2$.

Для уточнения области гомогенности $L1_2$ системы $Ti-Al-Cr$ была изготовлена диффузионная пара $TiAl_3-Cr$ методом электроискрового спекания. Процесс проводили при температуре 800°C с выдержкой 18 мин при давлении $0,5 \text{ МПа}$. Установлено, что при данных параметрах в зоне контакта формируются интерметаллидные соединения, однако толщина диффузионных оказалась слоёв недостаточна (рис. 1 а) для точного определения элементного состава. Поэтому для интенсификации процессов диффузии и роста интерметаллидных слоёв был применен последующий отжиг в вакууме при 800°C в течение 100 часов, что позволило увеличить толщину слоёв до $\sim 7-22 \text{ мкм}$ (рис. 1 б).

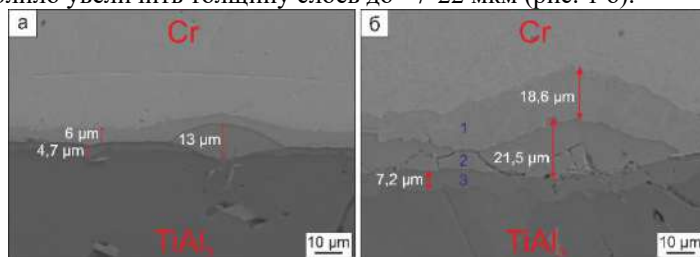


Рис. 1 – Структура диффузионной пары $TiAl_3-Cr$ до (а) и после (б) термической обработки

С целью выявления предполагаемого наличия слоя $L1_2$ в составе диффузионной пары был определен элементный состав отдельных слоев, который представлен в Таблице 1. Состав слоя 3 (рис. 1б) показал близкое соответствие стехиометрии $L1_2$ фазы. Для точной верификации фазового состава была проведена синхротронная рентгеновская

дифракция пучком микронного масштаба. Полученные дифракционные данные подтвердили наличие всех ожидаемых фаз, включая $L1_2$ фазу.

Таблица 1 – Элементный состав слоев после термической обработки

№	Элементный состав, ат. %			Предполагаемая фаза
	Ti	Cr	Al	
1	0,41	65,98	33,60	Cr_2Al
2	3,57	38,61	57,82	Cr_5Al_8
3	25,38	8,67	65,95	$Ti(Al_{1-x}Cr_x)_3$

Подтверждение наличия $L1_2$ слоя позволило установить усредненный состав однофазного сплава $Ti(Al_{1-x}Cr_x)_3$ с помощью растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO50 XVP, оснащенного энергодисперсионным спектрометром X-Act. Результаты анализа свидетельствуют о том, что $L1_2$ структура стабилизированного хромом $TiAl_3$ должна иметь стехиометрию близкую к $Ti_{25,5}Cr_{8,5}Al_{66}$.

Таким образом, создание диффузионных пар $Me-TiAl_3$ продемонстрировало свою эффективность для определения пределов растворимости легирующих элементов в $L1_2$ фазе. Экспериментально установленный состав $L1_2$ фазы в целом согласуется с тройной диаграммой состояния $Ti-Al-Cr$, однако зафиксирована большая концентрация титана в $L1_2$ по сравнению с литературными данными. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости корректировки границ области гомогенности $L1_2$ фазы в сторону более высокого содержания титана.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания FSUN-2024-0005 «Структурные преобразования в тонких поверхностных слоях металлических сплавов при экстремальном тепловом и деформационном воздействиях».

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов», НГТУ.

Эксперименты по синхротронной рентгеновской дифракции были проведены в НИЦ «Курчатовский институт».

Литература:

1. In situ synchrotron X-ray diffraction study of reaction routes in $Ti-Al_3Ti$ -based composites: The effect of transition metals on $L1_2$ structure stabilization / D. V. Lazurenko, V. V. Lozanov, A. Stark, F. Pyczak, A. A. Ruktuev, K. I. Emurlaev, L. Song, I. A. Bataev, I. V. Ivanov, T. S. Ogneva, A. A. Bataev // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 875. – Art. 160004.

2. Microstructure and Mechanical Properties of $L1_2-(Al, Cr)_3Ti/Ti_2AlC$ Composites Prepared by Combustion Synthesis / A. Kakitsuji, H. Miyamoto, H. Mabuchi, H. Tsuda, K. Morii // Materials transactions. – 2002. – Vol. 43, № 3. – P. 447–450.

3. Nic J. P., Klansky J. L., Mikkola D. E. Structure/property observations for Al–Ti–Cr alloys near the cubic $(Al,Cr)_3Ti$ phase // Materials Science and Engineering. – 1992. – Vol. A152. – P. 132–137.

4. Kumar K. S. Ternary intermetallics in aluminiumrefractory metal-X systems ($X = V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn$) // International Materials Reviews. – 1990. – Vol. 35, № 1. – P. 293–328.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТОМ СПЕКАНИИ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ, АРМИРОВАННОЙ ГЕКСААЛЮМИНАТОМ ЛАНТАНА

К. А. Антропова, Д. А. Наседкин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, antropova.2017@stud.nstu.ru**

В работе рассмотрены керамические материалы системы $Al_2O_3 - La_2O_3$, полученные при двухступенчатом электроискровом спекании. Фазовый состав спеченных материалов представлен $\alpha-Al_2O_3$ и $LaAl_{11}O_{18}$, независимо от режима. Сформированные пластины $LaAl_{11}O_{18}$ характеризуются соотношением сторон 1 к 5,4 и 1 к 7,3 соответственно режимам 1 и 2. Материал, содержащий пластины с более высоким соотношением сторон, обладает более высокой трещиностойкостью ($4,6 \pm 0,1 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$), твердость при этом незначительно ниже ($1965 \pm 19 \text{ HV}_2$).

This work investigates ceramic materials in the $Al_2O_3 - La_2O_3$ system fabricated by two-stage spark plasma sintering. The phase composition of the sintered materials consisted of $\alpha-Al_2O_3$ and $LaAl_{11}O_{18}$, regardless of the sintering regime used. The formed $LaAl_{11}O_{18}$ platelets exhibited aspect ratios of 1:5.4 and 1:7.3 for regimes 1 and 2, respectively. Material containing platelets with a higher aspect ratio demonstrated increased fracture toughness ($4.6 \pm 0.1 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), while its hardness was slightly lower ($1965 \pm 19 \text{ HV}_2$).

Исследованию влияния гексаалюминатов щелочных, щелочно- и редкоземельных металлов на уровень свойств, формирование структуры и фазового состава при спекании керамик на основе оксида алюминия и композиционных керамических материалов на основе оксида алюминия и диоксида циркония посвящено множество отечественных и зарубежных работ [1-3]. Формирование гексаалюминатов приводит к

изменению характеристик материалов, в том числе уровню твердости и пористости. Интерес к подобной добавке обусловлен положительным влиянием на уровень трещиностойкости, что остается актуальной задачей в области технической керамики. В структуре гексаалюминаты представлены пластинчатыми кристаллами, благодаря которым реализуются различные механизмы повышения трещиностойкости [3]. Наибольшего прироста характеристики можно достичь за счет формирования крупных кристаллов гексаалюминатов с высоким соотношением сторон (отношение длины пластины к ее ширине), чего можно добиться увеличением количества гексаалюминатообразующей добавки или подбором режима спекания [3,4]. В работе [5] отмечается положительное влияние двухступенчатого режима электроискрового спекания на уровень свойств материалов системы WC - Si₃N₄, а также показано, что данный подход способствует росту зерен упрочняющей фазы, обеспечивая высокое соотношение сторон. В данной работе рассмотрено влияние двухступенчатого режима электроискрового спекания на уровень свойств и структуру алюмооксидной керамики, содержащей гексаалюминат лантана.

В качестве исходных материалов использовали порошки α -Al₂O₃ и La₂O₃, вводимого для формирования гексаалюмината лантана LaAl₁₁O₁₈. Водные суспензии с 2 масс. % диамоний цитрата от массы порошка диспергировали шарами ZrO₂. Высушенную порошковую смесь прокаливали при 900 °С. Температурно-временные режимы электроискрового спекания приведены на рисунке 1, давление составляло 25 МПа. Образцы механически очищали от графита, шлифы готовили по стандартной технологии.

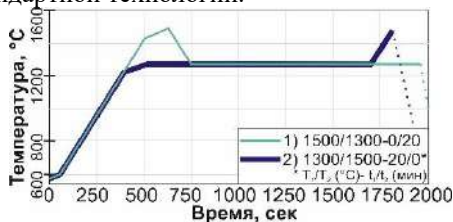


Рис.1 – Температурно-временные режимы

Фазовый состав оценивали по дифрактограммам, снятым в диапазоне углов от 20 до 70° (Cu K α ($\lambda_{K\alpha 1} = 1,5406 \text{ \AA}$)). Плотность и пористость измеряли методом гидростатического взвешивания. При индентировании методом Виккерса (нагрузка 2 кг) измеряли твердость и трещиностойкость, рассчитываемую по формуле [6]. Параметры пластин

гексаалюмината оценивали по микрофотографиям, полученным на растровом электронном микроскопе.

Установлено, что фазовый состав подготовленных материалов представлен $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$. Не обнаружено La_2O_3 или алюмината лантана LaAlO_3 , который может формироваться в данной системе. Независимо от режима спекания плотность материалов составляет более 99 % от теоретической, открытая пористость – менее 0,2 %.

Распределение компонентов в структуре равномерное, типичный снимок представлен на рисунке 2. Гексаалюминаты сформированы в виде длинных призм, пример измерения длины (желтая линия) и ширины (черная линия) показан на рисунке 2. Установлено, что средняя длина пластин независимо от режима спекания составляет $1,69 \pm 0,10$ мкм. При этом, пластины, сформировавшиеся при спекании по режиму 1, имеют меньшее соотношение длины к ширине, которое составляет 1 к 5,4. Режим спекания 2 обеспечивает формирование пластин с соотношением сторон 1 к 7,3.

Твердость материала, спеченного по режиму 1, составляет 2002 ± 22 HV₂, а по режиму 2 – 1965 ± 19 HV₂. Трещиностойкость имеет обратную зависимость и достигает $4,6 \pm 0,1$ МПа·м^{1/2} для материала, спеченного по режиму 2. Данное различие можно связать с более высокой плотностью и низкой пористостью материалов (режим 1). Также влияние могут оказывать пластины гексаалюмината, их ориентация, количество и геометрические параметры; модуль упругости гексаалюминатов ниже, чем у Al_2O_3 [2,3]. Необходимо проведение дополнительных исследований.

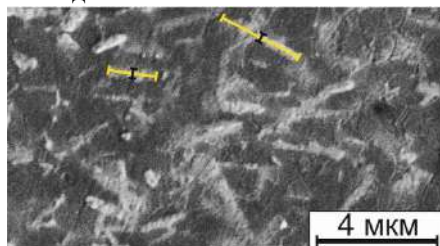


Рис.2 – Типичный снимок микроструктуры

Таким образом, при двухступенчатом спекании при температурах 1300 и 1500 °С происходит формирование гексаалюмината лантана в материалах системы оксид алюминия-оксид лантана. Рассмотренные режимы позволяют получить материалы с плотностью близкой к теоретической и низкому уровню открытой пористости (менее 0,2 %). Режим спекания с выдержкой при 1300 °С и последующим подогревом до 1500 °С способствует формированию пластин с высоким

соотношением сторон (1 к 7,3), и повышенному уровню трещиностойкости. При этом твердость такого материала составляет $1965 \pm 19 \text{ HV}_2$, что менее чем на 5% ниже, чем для материала с нагревом до 1500°C и последующей выдержкой при 1300°C .

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-00256, <https://rscf.ru/project/24-79-00256/>. Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов», НГТУ.

Литература:

1. Формирование гексаалюмината стронция в системах оксида алюминия и тетрагонального диоксида циркония, модифицированных катионами стронция / А.А. Ильичёва, Л.И. Подзорова, В.П. Сиротинкин, О.С. Антонова, А.А. Коновалов, В.Е. Кутузова // Журнал неорганической химии. – 2020. – № 65. – С. 154–161.
2. Rietveld analysis and mechanical properties of in situ formed La- β - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ composites prepared by sol-gel method / P. Rivero-Antúnez, V. Morales-Flórez, F.L. Cumbreira, L. Esquivias // Ceramics International. – 2022. – Vol. 48. – P. 24462–24470. – doi: 10.1016/j.ceramint.2022.05.058.
3. Mechanical properties of dense to porous alumina/lanthanum hexaaluminate composite ceramics / Z. Negahdari, M. Willert-Porada, C. Pfeiffer // Materials Science and Engineering: A. – 2010. – Vol. 527. – P. 3005–3009. – doi: 10.1016/j.msea.2010.01.050.
4. Wachtman J. B., Cannon W. R., Matthewson M. J. Mechanical properties of ceramics. 2nd ed / Hoboken, N.J: Wiley, 2009. – 479 p.
5. In-situ elongated β - Si_3N_4 grains toughened WC composites prepared by one/two-step spark plasma sintering / D. Zheng, X. Li, Y. Li, S. Qu, C. Yang // Materials Science and Engineering: A. – 2013. – Vol. 561. – P. 445–451. – doi: 10.1016/j.msea.2012.10.059.
6. Evaluation of K_{Ic} of brittle solids by the indentation method with low crack-to-indent ratios / K. Niihara, R. Morena, D.P.H. Hasselman // Journal of Materials Science Letters. – 1982. – Vol. 1. – P. 13–16. – doi: 10.1007/BF00724706.

АКТИВАЦИЯ КИСЛОРОДА НА F-ЦЕНТРАХ ИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ ПО ДАННЫМ ТФП

Н. А. Афимченко¹

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, n.afimchenko@solid.nsc.ru
Научный руководитель: Зильберберг И. Л., д.х.н.

F-центры представляют собой уникальный структурный дефект, содержащий локализованный «свободный» электрон, захваченный анионной вакансией. Возможность переноса такого «свободного» электрона на другие молекулы, а также захват молекул в F-центр определяют его активационные свойства. В нашей работе мы изучили образование F-центра в каменной соли NaCl из первых принципов. Были описаны дескрипторы появления F-центра: спиновая плотность, магнетизация атомов и плотность состояний (DOS). Активационные свойства F-центра изучены в процессах отрыва водорода от метана и адсорбции молекулярного кислорода.

F-centers are a unique structural defect containing a localized "free" electron captured by an anion vacancy. The ability to transfer such a "free" electron to other molecules, as well as the capture of molecules by the F-center, determine its activation properties. In our work, we studied the formation of the F-center in the rock salt NaCl from first principles. Descriptors of the F-center appearance were described: spin density, atomic magnetization, and the density of states (DOS).

F-центры представляют собой структурный дефект, образованный из анионной вакансии, захватившей электрон. В зависимости от природы аниона вакансии может взять один или несколько электронов. F-центры образуются в ионных кристаллах при воздействии рентгеновского облучения или выдерживании в парах щелочного металла (катиона). При этом F-центры способны образовываться как в объеме кристалла, так и на поверхности (F_s-центры). [1, 2]. Например, хорошо известная каменная соль NaCl белого цвета, при выдержке в парах натрия приобретает желтый цвет.

С точки зрения каталитических процессов F-центр представляет интерес как донор электрона. Перенос электрона на молекулу-акцептор переводит ее в возбужденное радикальное состояние. Энергия необходимая для переноса электрона пропорциональна сродству к электрону молекулы-акцептора. По данной величине можно говорить об активности молекулы-акцептора по отношению к дальнейшим реакциям. Активность подобных возбужденных состояний была изучена для широкого ряда органических молекул в работах. [3, 4] С переносом электрона с F-центра на адсорбированные молекулы связан эффект исчезновения окраски, в частности в атмосфере воздуха желтые

кристаллы NaCl постепенно вновь становятся белыми. Этот процесс подтверждает два важных момента, связанных с F-центрами: (I) F-центры способны существовать на поверхности, (II) молекулы кислорода, азота и др. способны захватывать электрон F центра. Эти процессы были изучены в работах. [1, 5, 6] Последним отметим, что поверхностные дефекты способствуют адсорбции молекул, данный эффект был изучен для адсорбции воды на поверхности NaCl и KCl. [7]

В нашей работе мы изучили образование F-центра в NaCl в объеме и на поверхности. Была рассмотрена активация молекулярного кислорода при захвате электрона с образованием супероксогруппы O_2^- и атомарного радикального кислорода $O^\cdot$. Критерием активности электрона F-центра или образованных кислород содержащих центров является энергия отрыва водорода от метана.

Расчеты проведены в программе VASP (версия 5.4.4) в базисе PBE с набором потенциалов Na_pv, Cl, H, O, C. В качестве расчетной системы выбрана суперячейка NaCl 2x2x2 ($Na_{32}Cl_{32}$). Для расчетов на поверхности был добавлен вакуумный слой 20Å, позиции атомов нижнего атомного слоя были заморожены.

В первую очередь был проведена оптимизация идеальной системы $Na_{32}Cl_{32}$ в объеме и на поверхности. Далее из систем был удален один атом хлора (для $Na_{32}Cl_{32}$ поверхностный атом). Для систем с вакансией хлора были рассчитаны изоповерхности спиновой плотности и DOS для идентификации F центра. В объеме и на поверхности $Na_{32}Cl_{31}X$ (X – анионная вакансия) спиновая плотность локализуется в вакансии хлора, что наглядно видно на рисунке 1 (слева).

Образование F центра также видно из pDOS (парциальная плотность состояний). Состояниям F центра соответствуют пики на tDOS (полная плотность состояний), не соответствующие ни одному атому на pDOS. [8] DOS поверхности NaCl с вакансией Cl изображен на рисунке 1 (справа), состояния F центра выделены.

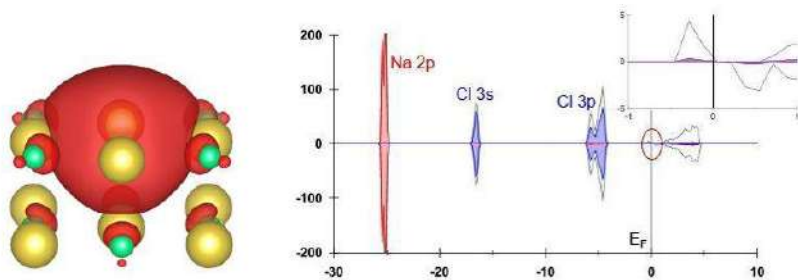


Рис. 1 – Слева: фрагмент поверхности NaCl с вакансией Cl. Na - желтый, Cl - зеленый, спиновая плотность - красная изоповерхность; справа: pDOS поверхности NaCl с вакансией Cl. Красный - Na, синий - Cl, черный без заливки - полный DOS. Состояния F центра обведены темно-красным и вынесены отдельной вставкой. Энергии приведены в Эв, уровень Ферми расположен на 0 Эв.

На поверхностном F-центре был смоделирован процесс отрыва водорода от метана, а также адсорбция молекулярного кислорода и закиси азота с образованием поверхностных супероксида (O_2^-) и атомарного кислорода ($O^\cdot$), соответственно. Отрыв водорода от метана на образовавшихся кислородных центрах также был рассмотрен.

При отрыве водорода от метана на F-центре, атом водорода занимает позицию поверхностной вакансии (позицию F-центра) и захватывает электрон, образуя H- решеточный центр. При этом на метильном радикале остается неспаренный электрон, что подтверждается распределением спиновой плотности и высоким значением магнетизации на атоме углерода ($\mu_c = 0,48$). Однако энергетически такой процесс не выгоден и требует 1,86 эВ.

Значительно выгоднее по энергии происходит разрыв C-H связи метана на кислородных центрах. Во-первых, из-за стабилизации электрона F-центра на молекуле или атоме кислорода. Адсорбция молекулярного кислорода или закиси азота на F-центр с образованием супероксида и атомарного кислорода приводит к понижению энергии - 2,78 эВ и -1,85 эВ, соответственно. Образование радикальных центров подтверждается распределением спиновой плотности и значениями магнетизации на атомах кислорода.

Последующее взаимодействие метана с этими центрами также остается энергетически выгодным. Взаимодействие супероксида с метаном приводит к образованию гидроперекиси и метильному радикалу, полное изменение энергии равно -1,16 эВ. Взаимодействие атомарного кислорода с метаном приводит к образованию гидроксида и

метильного радикала с полным изменением энергии -2,22 эВ. Общая схема энергетики приведена на рисунке 2.

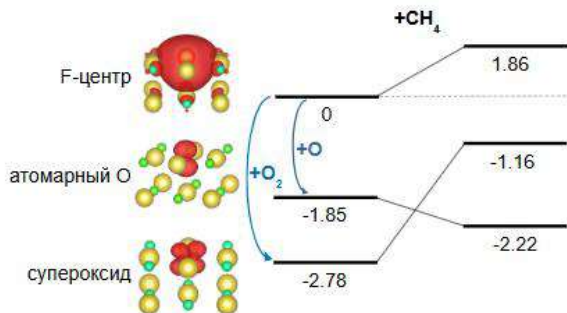


Рис. 2 – Энергетический профиль отрыва водорода от метана на F-центре и кислородных центрах. Энергия приведена в Эв

Таким образом, F-центр выступает активатором молекулярного и атомарного кислорода, приводящего к образованию радикальных центров. Окисление метана на данных центрах протекает со значительным выигрышем по энергии (-1,16 и -2,22 эВ), по сравнению с энергией связи C-H метана около 4 эВ (по нашим расчетам 4,73 эВ).

Литература:

1. Reactivity of $(\text{H}^+)(\text{e}^-)$ Color Centers at the MgO Surface: Formation of O_2^- and N_2^- Radical Anions. / D. Ricci, G. Pacchioni, P. V. Sushko, A. L. Shluger // *Surf. Sci.* – 2003. – 542 (3). – P. 293–306. – [https://doi.org/10.1016/S0039-6028\(03\)01000-8](https://doi.org/10.1016/S0039-6028(03)01000-8).
2. Quantifying the Delocalization of Surface and Bulk F-Centers. / B. G. Janesko, S. I. Jones // *Surf. Sci.* – 2017. – 659 (January). – P. 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.susc.2017.01.005>.
3. Chemistry with F Centers: Reduction of Organic Molecules on the Defective Potassium Chloride(100) / M. Häfner, M. Hochheim, T. Bredow // *Surface. J. Phys. Chem. C.* – 2020. – 124 (23). – P. 12606–12616. – <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c03511>.
4. Adsorption of PTCDA on NaCl Surfaces with Color Centers: Charge Transfer and Formation of Radical Ions. / M. Hochheim, T. Bredow // *J. Phys. Chem. C.* – 2018. – 122 (51). – P. 29426–29434. – <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.8b10840>.
5. Cluster Models of O_2 Adsorption on Regular and Defect Sites and F_s Centers of the MgO (100) / G. Pacchioni, A. M. Ferrari, E. Giamello // *Surface.*

Chem. Phys. Lett. – 1996. – 255 (1–3). – P. 58–64. – [https://doi.org/10.1016/0009-2614\(96\)00352-1](https://doi.org/10.1016/0009-2614(96)00352-1).

6. Adsorption Geometry of OH Adsorbed at F Centers on a NaCl(100) / U. Malaske, H. Pfnür, M. Bäessler, M. Weiss, E. Umbach // Surface. Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys. – 1996. – 53 (19). – P. 13115–13120. – <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.53.13115>.

7. Defect-Induced Band Gap States and the Contact Charging Effect in Wide Band Gap Insulators / U. Malaske, C. Tegenkamp, M. Henzler, H. Pfnür // Surf. Sci. – 1998. – 408 (1–3). – 237–251. – [https://doi.org/10.1016/S0039-6028\(98\)00247-7](https://doi.org/10.1016/S0039-6028(98)00247-7).

8. Borstel G. Ab Initio Calculations of the BaF₂ Bulk and Surface F Centres / H. Shi, R. I. Eglitis // J. Phys. Condens. Matter. – 2006. – 18 (35). – P. 8367–8381. – <https://doi.org/10.1088/0953-8984/18/35/021>.

ВЛИЯНИЕ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МЕМБРАН ИЗ ПОЛИ(2,5-БЕНИМИДАЗОЛА), ДОПИРОВАННЫХ КИСЛЫМИ ФОСФАТАМИ ЦЕЗИЯ

Т. Д. Демакова^{1,2}, В. Г. Пономарева²

**¹Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет,**

**²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, t.mordvinova@g.nsu.ru**

Научный руководитель: Пономарева В. Г., д.х.н.

Были синтезированы тонкопленочные композиционные мембраны ABPBI:CsH₅(PO₄)₂:mH₃PO₄ (0,8≤m≤4,2) и изучены их свойства комплексом методов, включая рентгенофазовый анализ, ИК-Фурье спектроскопию, сканирующую электронную микроскопию, импедансную спектроскопию. Были получены данные протонной проводимости и механической прочности электролитов.

In this work, thin-film composite membranes ABPBI:CsH₅(PO₄)₂:mH₃PO₄ (0.8≤m≤4.2) were synthesized and their properties were studied by a complex of methods, including X-ray phase analysis, IR-Fourier spectroscopy, scanning electron microscopy, impedance spectroscopy. Data on proton conductivity and mechanical strength of electrolytes were obtained.

Разработка материалов для возобновляемых источников энергии – одно из актуальных направлений современного материаловедения. В последнее время проводится все больше исследований в области водородных технологий, и создание эффективных среднетемпературных топливных элементов (ТЭ) – актуальная задача водородной энергетики.

Наиболее изученными и перспективными среди них являются ТЭ на основе тонкопленочных полибензимидазольных мембран (РВІ), пропитанных фосфорной кислотой. Они обладают высокой протонной проводимостью при низкой влажности, химической стабильностью [1, 2]. Среди многих производных РВІ многообещающим материалом является поли(2,5-бензимидазол) (АВРВІ) [2]. С ростом содержания кислоты протонная проводимость электролитов возрастает, но возникают трудности при эксплуатации ТЭ на основе системы РВІ-Н₃РО₄, связанные с вымыванием кислоты в ходе эксплуатации, ее деградацией в полифосфорную кислоту и возможной коррозией компонентов мембранно-электродного блока (МЭБ). Поэтому получение протон-проводящих мембран РВІ-Н₃РО₄ с уменьшенным содержанием кислоты – важная задача для создания эффективных среднетемпературных ТЭ. Один из подходов уменьшения содержания кислоты без значительного ухудшения транспортных свойств – гетерогенное допирование высокодисперсными оксидами (например, SiO₂ [3]) или соединениями с высокой протонной проводимостью. Кислые соли щелочных металлов с общей формулой M_nH_m(AO₄)_p (M = Cs, Rb, NH₄⁺, A = P, As, S, Se, m, n, p – целые числа) имеют высокую протонную проводимость (~ 10⁻³ – 10⁻² См/см) в диапазоне температур 80 – 250 °С. CsH₅(PO₄)₂ является одним из представителей семейства твердых кислот [4].

Работа направлена на изучение особенностей влияния допирования фосфорной кислотой на фазовый состав и механические свойства мембран на основе поли(2,5-бензимидазола) (АВРВІ), функционализированных кислыми солями цезия. Мембраны получены из исходных тонких пленок АВРВІ:CsHCO₃ обработкой фосфорной кислотой в широком диапазоне составов (вплоть до 4.2 моль Н₃РО₄ на 1 моль АВРВІ). Показано, что фазовый состав образуемых солей в мембране изменяется в зависимости от количества введенной кислоты. Наблюдается аморфизация, текстурирование кислой соли в матрице АВРВІ. Имеется равномерное распределение компонентов со средним размером частиц соли менее 5 мкм.

С помощью ИК-спектроскопии обнаружено изменение ближайшего окружения, фазового состава и образование CsH₅(PO₄)₂. Протонная проводимость меняется на порядки величин в зависимости от состава и содержания кислоты в образцах, достигая высоких значений, ~5·10⁻² См/см при 140 °С. Показано уменьшение энергии активации проводимости с ростом содержания кислоты, от 0,7 до 0,1 эВ. Определено, что для мембран, содержащих АВРВІ:CsH₅(PO₄)₂:mH₃РО₄ (m = 2,5 ÷ 3), характерны наибольшие величины протонной проводимости, близкие к проводимости составов без солей с большим

содержанием H_3PO_4 . Показано, что введение фосфорной кислоты хотя и приводит к снижению механической прочности мембран на разрыв, но прочность достаточна для использования в ТЭ.

Составы с содержанием до 3,5 моль фосфорной кислоты обладают достаточной механической прочностью и высокими значениями протонной проводимости, что создает перспективу использования в качестве протонных мембран среднетемпературных ТЭ.

Литература:

1. Wu B. Recent Progress in the Development of PBI-Based Membranes for High Temperature PEM Fuel Cell Applications // Journal of Electrochemical Research. – 2021. – V. 5. – № 1. – P. 3.
2. Quartarone E., Angioni S., Mustarelli P. Polymer and composite membranes for proton-conducting, high-temperature fuel cells: a critical review. // Materials. – 2017. – V. 10. – № 7. – P. 687.
3. PBI composite and nanocomposite membranes for PEMFCs: the role of the filler / E. Quartarone, P. Mustarelli, A. Carollo, S. Grandi, A. Magistris, C. Gerbaldi // Fuel cells. – 2009. – V. 9. – № 3. – P. 231-236.
4. Bulk and surface properties of ionic salt $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2$ / G.V. Lavrova, E.B. Burgina, A.A. Matvienko, V.G. Ponomareva // Solid State Ionics. – 2006. – V. 177. – № 13-14. – P. 1117-1122.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ МАРГАНЦЕМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ИНТЕРМЕТАЛЛИДА TiAl_3

Е. Д. Есикова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kate.esikova@mail.ru

Научный руководитель: Эмурлаев К. И., к.т.н., доцент

В работе представлены исследования влияния марганца на повышение трещиностойкости триалюминида титана. Экспериментальные образцы, содержащие марганец (8, 12, 16 ат. %) были получены методом аргонодугового переплава. Рентгенофазовый анализ показал, что введение Mn способствует стабилизации кубической структуры ($L1_2$) путём формирования твёрдого раствора замещения $\text{Ti}_{25}\text{Al}_{75-x}\text{Mn}_x$ триалюминида титана. Результаты дюрметрических испытаний синтезированных сплавов свидетельствуют об увеличении трещиностойкости до 6,425 МПа·√м, что в 1,9 раз выше по сравнению с TiAl_3 .

This work presents a study on the effect of manganese on enhancing the fracture toughness of titanium trialuminide (TiAl_3). Experimental samples containing manganese (8, 12, and 16 at. %) were fabricated using argon arc melting. X-ray phase

analysis revealed that the addition of Mn promotes the stabilization of a cubic L1₂ structure through the formation of a substitutional solid solution with the composition Ti₂₅Al_{75-x}Mn_x. The results of indentation tests on the synthesized alloys indicate an increase in fracture toughness up to 6.425 MPa·√m, which is approximately 1.9 times higher in comparison to that of unalloyed TiAl₃.

Многие исследования сосредоточены на интерметаллидах системы Ti-Al, в частности на соединениях Ti₃Al, TiAl и TiAl₃. Интерес к этим материалам обусловлен уникальным комплексом свойств, таких как жаростойкость, жаропрочность и высокая удельная прочность. В то время как сплавы на основе интерметаллидов Ti₃Al (диски турбин, клапаны двигателей) и TiAl (лопатки турбин низкого давления, лопатки компрессоров) уже нашли применение в промышленности, сплавы на основе TiAl₃ до сих пор остаются предметом фундаментальных исследований [1]. Вместе с тем, именно триалюминид титана обладает наибольшей коррозионной и жаростойкостью, твёрдостью, жёсткостью и наименьшей плотностью. Однако основным недостатком этого соединения является его высокая хрупкость [2]. Одним из перспективных методов повышения пластичности является легирование третьим компонентом, направленное на стабилизацию кубической структуры, обладающей большим количеством систем скольжения [3, 4].

В качестве исходных материалов использовали технически чистые титан, алюминий и марганец. Расчет шихты проводили на основе стехиометрии соединения TiAl₃ с добавлением 8, 12 и 16 ат. % марганца. Переплавы образцов проводили в аргодуговой печи (Büchler ArcMelter AM) в атмосфере аргона при давлении 800 мбар. Для обеспечения гомогенности состава каждый образец переплавляли не менее пяти раз. С использованием электроэрозионной резки на станке с ЧПУ (Sodick AG400L) из полученных слитков вырезались образцы в поперечном сечении для проведения металлографических исследований.

Исследования микроструктуры материалов проводилось с использованием оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Observer A1m и растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO 50 XVP. Для выявления зёрненной структуры проводили химическое травление реактивом Кролла, состоящим из 5 мл HNO₃, 3 мл HCl, 2 мл HF и 90 мл дистиллированной H₂O. Фазовый состав слитков оценивали дифракционным методом. Картины дифракции регистрировались дифрактометром ADVIN POWDIX 600.

Микротвёрдость образцов определяли методом Виккерса при нагрузке 0,98 Н. Трещиностойкость оценивали методом Палмквиста в диапазоне нагрузок 98...196 Н.

Дифракционный анализ показал, что фазовый состав сплава $Ti_{25}Al_{75}$ представлен фазой $TiAl_3$ с тетрагональной решёткой типа $D0_{22}$, а также высокотемпературной фазой Ti_5Al_{11} с тетрагональной решёткой ($D0_{23}$).

Легирование марганцем приводит к стабилизации кубической модификации триалюминид титана со структурой $L1_2$. Образование вторичных интерметаллических фаз, по всей видимости, связано с локальными химическими неоднородностями и неравновесной кристаллизацией, вызванной быстрым охлаждением расплава.

Микроструктура сплава, соответствующего соединению $TiAl_3$, характеризуется дендритным строением. Многочисленные трещины в структуре триалюминид титана связаны с дендритной ликвацией и значительными термическими напряжениями. При введении 8 ат. % марганца (сплав $Ti_{25}Al_{67}Mn_8$) формируется однородная структура, состоящая из дендритов $L1_2$ -фазы и равномерно распределённой вторичной фазы в междендритных областях. Трещин в сечении образца не обнаружено. Увеличение концентрации марганца до 12 ат. % приводит к измельчению дендритной структуры по сравнению со структурой $Ti_{25}Al_{67}Mn_8$. Однако дальнейшее легирование до 16 ат. % не приводит к дополнительному улучшению микроструктуры. Сплав имеет мелкозернистое дендритное строение с выделениями вторичных фаз, а на поверхности шлифа наблюдаются трещины.

Испытания на микротвёрдость показали, что легирование марганцем приводит к её снижению. Для всех исследованных сплавов характерен малый разброс значений, что свидетельствует о высокой однородности их химического состава и микроструктуры. Наименьшее значение микротвёрдости (2,1 ГПа) зафиксировано у сплава $Ti_{25}Al_{63}Mn_{12}$; это значение в 1,8 раза ниже, чем у нелегированного триалюминид титана ($TiAl_3$). ДюрOMETрические испытания также показали, что легирование марганцем (8 ат. %) позволяет улучшить трещиностойкость сплава в 1,9 раз относительно $TiAl_3$ ($3,475 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$).

Улучшение свойств связано с образованием кубической $L1_2$ -фазы, которая обладает большим количеством систем скольжения по сравнению с тетрагональной решёткой триалюминид титана.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания FSUN-2024-0005 «Структурные преобразования в тонких поверхностных слоях металлических сплавов при экстремальном тепловом и деформационном воздействиях».

Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» (НГТУ).

Литература:

1. Лазуренко Д. В. Структура и свойства слоистых композиционных материалов с интерметаллидной составляющей: дис. докт. техн. наук: 05.16.09 – Новосибирск, 2020. – 421 с.
2. First-principles calculation on the structural, elastic and thermodynamic properties of Ti-Al intermetallics / Y.-L. Song, Z.-H. Dou, T.-A. Zhangx, Y. Liu, G.-C. Wang//Mater. Res. Express. – 2019. – V.6 – P. 1065a4.
3. H. Mabuchi Formation of structural $L1_2$ compounds in $TiAl_3$ - base alloys containing Mn / H. Mabuchi, Ken-ichi Hirukawa, Y. Nakayama // Scripta Metallurgica. – 1989. – V. 23. – P. 1761–1766.
4. The dependence of tensile behaviour of $L1_2$ compound $Al_{67}Ti_{25}Mn_8$ on the strain rate at 1173 K / Sun, J., Lee, C. Hu, G // Scr. Mater. – 1997. – V. 37. – P. 645-650.
5. Эмурлаева Ю. Ю. Структура и механические свойства интерметаллидных слоёв, полученных при отжиге биметаллов Al-Me (Me = Ti, Zr, Nb, Ta): дис. канд. техн. наук: 2.16.17. – Новосибирск, 2023. – 224 с.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕЧЕННОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ С ДОБАВКОЙ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ

С.А. Жуковская¹, К.А. Антропова¹

**¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zukovskaasofa0@gmail.com**

Представлены результаты исследования керамик на основе оксида алюминия с добавкой диоксида церия, полученных методом электроискрового спекания при температурах 1300, 1400 и 1500 °С. В рассматриваемой системе сформирован гексаалюминат церия. В сравнении с материалом без добавки, материалы, содержащие гексаалюминат церия, отличаются меньшим уровнем открытой пористости и более высокой твердостью. Для материала, спекенного при 1400 °С, характерны наиболее высокая твердость (1934 ± 33 HV₂) и наименьшая открытая пористость ($0,5 \pm 0,2$ %), что соответственно на 7 % выше, и в 4 раза меньше, чем у материала без добавок.

Results are presented for a study of alumina-based ceramics with ceria (CeO_2) additives, fabricated by spark plasma sintering at temperatures of 1300, 1400, and 1500 °C. The formation of cerium hexaaluminate within the system was confirmed. Compared to the baseline material without additives, the ceramics containing cerium hexaaluminate exhibited lower open porosity and higher hardness. The material sintered at 1400 °C demonstrated the highest hardness (1934 ± 33 HV₂) and the lowest open porosity (0.5 ± 0.2 %). These values are approximately 7% higher and four times lower, respectively, than those of the additive-free material.

Алюмооксидная керамика является широко применимой в различных областях промышленности, при изготовлении износостойких, огнеупорных, теплопроводных, электроизоляционных и других изделий [1]. Многие исследования направлены на повышение трещиностойкости этих материалов. Перспективной добавкой считается формирование в структуре Al_2O_3 гексаалюминатов (формулы $\text{MeAl}_{11}\text{O}_{18}$, $\text{MeAl}_{12}\text{O}_{19}$), зерна которых имеют призматическую форму. Такая морфология эффективно рассеивает энергию распространяющихся трещин при многократном ее отклонении или разрушении и вытягивании пластин. При этом формирование гексаалюминатов может приводить к увеличению пористости и снижению твердости материалов [2,3]. Таким образом, получение материалов, содержащих гексаалюминатообразующие добавки, и исследование их влияния на формирование фазового состава и свойств алюмооксидной керамики является актуальной задачей.

В данной работе для подготовки материалов использовали порошок $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и 30 % раствор $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Водные суспензии, в которых масса порошка составляла 50 %, диспергировали шарами ZrO_2 в течение 2 часов с 2 масс. % диамоний цитрата. Высушенный порошок прокаливали при 900 °С в течение часа. Расчетное массовое содержание диоксида церия, образовавшегося после отжига в окислительной атмосфере печи, составляло 1,19 масс. %. Спекание проводили электроискровым методом в графитовой форме с использованием графитовой бумаги. Температуру спекания, контролируемую пирометром, варьировали от 1300 до 1500 °С с шагом в 100 °С. Давление прессования составляло 25 МПа, время выдержки при максимальной температуре – 20 минут. Графит был механически удален с поверхности образцов. Шлифы готовили по стандартной технологии.

Фазовый состав порошков после отжига и спеченных материалов оценивали по дифрактограммам в диапазоне углов от 20 до 70°, съемку проводили с использованием $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda_{\text{K}\alpha 1} = 1,5406 \text{ \AA}$). Плотность и пористость были измерены методом Архимеда. Твердость измеряли методом Виккерса, при нагрузке 2 кг.

Согласно результатам рентгенофазового анализа, подготовленный порошок состоит из $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и CeO_2 . Материалы, спеченные при 1300 °С, состоят из $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$ и незначительного количества CeAlO_3 . Фазовый состав спеченных при температурах выше 1300 °С представлен $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$.

Результаты измерения физико-механических характеристик материалов приведены в таблице 1. Кажущаяся плотность исследуемых материалов, спеченных при 1500 °С, близка к теоретической. С

уменьшением температуры спекания кажущаяся плотность уменьшается, открытая пористость материалов увеличивается. При этом уровень открытой пористости в материалах с добавкой ниже, чем в материалах без добавки, что может говорить об улучшении уплотняемости при наличии добавки. Формирование $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$ не привело к росту пористости, поскольку спекание протекает под давлением. Также формирование $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$ не привело к снижению твердости. Наоборот, материалы с добавкой обладают твердостью выше, чем у материалов без добавки, примерно на 7 %. Менее значительная разница наблюдается для материалов, спеченных при 1300 °С (около 3 %). Значительное влияние на уровень твердости оказывает температура спекания. Изменение характеристики происходит нелинейно. Наиболее высокий уровень твердости демонстрирует материал с добавкой, спеченный при 1400 °С. Для более глубокого анализа характеристик необходимо проведение структурных исследований.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых материалов

Характеристика	Состав	Температура спекания, °С		
		1500	1400	1300
Кажущаяся плотность, г/см ³	Al_2O_3	3,98±0,20	3,85±0,23	3,43±0,30
	Al_2O_3 - CeO_2	4,00±0,11	3,99±0,18	3,54±0,28
Открытая пористость, %	Al_2O_3	0,3±0,2	2,2±0,3	12,3±0,4
	Al_2O_3 - CeO_2	0,2±0,2	0,5±0,2	9,9±0,4
Твердость, HV_2	Al_2O_3	1691±24	1810±15	1270±64
	Al_2O_3 - CeO_2	1820±18	1934±33	1300±40

В данной работе установлено, что добавка диоксида церия оказывает положительное влияние на уровень физико-механических характеристик материалов, снижая открытую пористость и увеличивая твердость материалов. С увеличением температуры спекания уровень открытой пористости уменьшается. Изменение твердости при варьировании температуры носит нелинейный характер, с максимумом при 1400 °С. При электроискровом спекании алюмооксидной керамики с добавкой диоксида церия при температурах свыше 1300 °С сформирован гексаалюминат церия, в материале спеченном при 1300 °С присутствует фаза CeAlO_3 . Формирование $\text{CeAl}_{11}\text{O}_{18}$ не оказало негативного влияния на уровень исследуемых характеристик.

Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов», НГТУ.

Литература:

1. Абызов А. М. Оксид алюминия и алюмооксидная керамика (Обзор). Часть 3. Российские производители алюмооксидной керамики // Новые огнеупоры. – 2019. – № 4. – С. 20–29.
2. Mechanism of pore generation in calcium hexaluminate (CA6) ceramics formed in situ from calcined alumina and calcium carbonate aggregates / R. Salomão, V.L. Ferreira, I. R. Oliveira, A.D.V. Souza, W.R. Correr // Journal of the European Ceramic Society. – 2016. – Vol. 16, iss. 36. – P. 4225–4235.
3. Rietveld analysis and mechanical properties of in situ formed La- β -Al₂O₃/Al₂O₃ composites prepared by sol-gel method / P. Rivero-Antúnez, V. Morales-Flórez, F.L. Cumbreira, L. Esquivias // Ceramics International. – 2022. – Vol. 48. – P. 24462–24470.

КОМПОЗИТНЫЙ ТВЕРДЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ НА ОСНОВЕ БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ [N₂₂pip]BF₄ -LiBF₄

А. В. Измоденова^{1,2}, А. С. Улихин¹

¹Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет,

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, a.izmodenova@g.nsu.ru
Научный руководитель: Улихин А.С., к.х.н.

В ходе работы впервые синтезированы композиционные твердые электролиты $(1-x)\{(1-y)[N_{22}pip]BF_4 - yLiBF_4\} - xAl_2O_3$ ($0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x < 0,6$) и изучены их свойства комплексом методов: импедансной спектроскопией, дифференциальной сканирующей калориметрией, рентгенофазовым анализом, линейной вольтамперометрией.

In this work composite solid electrolytes $(1-x)\{(1-y)[N_{22}pip]BF_4 - yLiBF_4\} - xAl_2O_3$ ($0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x < 0,6$) were synthesized for the first time and studied by a set of methods: impedance spectroscopy, differential scanning calorimetry, X-ray phase analysis, linear voltammetry.

Пластические кристаллы – твёрдые вещества, обладающие регулярной кристаллической решёткой, в которой ионы или молекулы обладают высокими вращательными и/или ориентационными степенями свободы. Несмотря на активное изучение с 1960-х годов, эти материалы сохраняют научную актуальность благодаря следующим свойствам: низкой летучести, высокой электрохимической и термодинамической стабильности. Это делает их перспективными твёрдыми электролитами для использования в устройствах хранения и запасаения энергии [1, 2].

Пластические фазы органических солей представляют собой материалы, которые сочетают в себе кристаллическую структуру, умеренную пластичность и относительно высокую ионную проводимость [3]. В расплавленном состоянии органические соли представляют собой ионные жидкости с высокой проводимостью, однако в твердом состоянии их электропроводность остается низкой для практического использования. Повышение ионной проводимости путем допирования примесными катионами ограничено низкой растворимостью примесей.

Одним из методов увеличения электропроводности является гетерогенное допирование ионных солей химически инертными высокодисперсными добавками, такими как, например, оксиды. В этом случае повышение электропроводности обусловлено взаимодействием на границе раздела между ионной солью и оксидом, что приводит к образованию областей с высокой концентрацией дефектов или значительным разупорядочением в объеме соли, расположенных вблизи границ раздела соль/оксид. Ранее [2] было показано, что гетерогенное допирование подобной системы, тетрафторбората N-метил-N-пропилпиперидиния, оксидом алюминия с величиной удельной поверхности $\sim 200 \text{ м}^2$ (БЭТ) приводит к увеличению ионной проводимости на три порядка достигает значения $4.6 \cdot 10^{-4} \text{ См/см}$.

Данная работа посвящена синтезу и исследованию термических свойств, ионной проводимости и электрохимических характеристик композитных твердых электролитов на основе бинарной системы $[\text{N}_{22}\text{pip}]\text{BF}_4\text{-LiBF}_4$, допированной высокодисперсным $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Измерения проводимости бинарной системы проводились из расплава в диапазоне температур 30-170°C. Для исследования тройных систем были спрессованы диаметром 5 мм и толщиной 0.5-1 мм с серебряными электродами. Прессование проводилось при давлении 400 бар. Проводимость измерялась на переменном токе в диапазоне частот 30 Гц – 1 МГц с помощью прецизионного измерителя LCR Meter HP-4284A в вакууме $5 \cdot 10^{-2}$ торр при температурах 25-170°C.

Электрохимические исследования проводились в ячейке монетного типа CR2032 на спрессованном диске толщиной 0.5 мм и диаметром 16 мм с прижатыми литиевыми электродами при температуре 100°C.

Исследование термических свойств бинарной системы $[\text{N}_{22}\text{pip}]\text{BF}_4\text{-LiBF}_4$ показало, что фазовая диаграмма имеет сложный вид с точками эвтектики и перитектики в зависимости от концентрации LiBF_4 .

Проводимость в зависимости от концентрации тетрафторбората лития достигает значений $\sim 10^{-6} \text{ См/см}$ при 40 °C и $\sim 10^{-3} \text{ См/см}$ при 120°C. На температурных зависимостях проводимости наблюдаются резкие

изменения характера кривой в исследуемом диапазоне температур, вызванные фазовыми переходами. Введение оксида алюминия приводит к тому, что фазовые переходы становятся менее явными. При этом наблюдается незначительное снижение проводимости может быть вызвано уменьшением концентрации носителей заряда ввиду сорбции катионов одного типа на поверхности добавки и образования композита ионная соль/оксид обладающего значениями существенно ниже по сравнению с оставшейся в свободном виде бинарной системы.

Гальваностатические испытания трехфазных систем в симметричных ячейках с электродами из металлического лития свидетельствуют о том проводимость в исследуемых системах реализуется в том числе катионами лития.

Литература:

1. Zhu H. [и др.]. Organic Ionic Plastic Crystals as Solid-State Electrolytes // Trends in Chemistry. - 2019.- № 1 (1). P. 126–140.
2. Ulihin A. S. [и др.]. Thermal, structural and transport properties of composite solid electrolytes $(1-x)(\text{C}_4\text{H}_9)_4\text{NBF}_4-x\text{Al}_2\text{O}_3$ // Solid State Ionics. - 2022. № September 2021 (378). P. 115889.
3. Mousavi M. P. S. [и др.]. Electrochemical Stability of Quaternary Ammonium Cations: An Experimental and Computational Study // Journal of The Electrochemical Society. - 2016. № 2 (163). P. 74–80.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ВИСМУТ-СИЛИКАТ-ЗАМЕЩЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА

^{1,2}**М. А. Козлова, ¹С. В. Макарова**

¹**Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,**

²**Новосибирский государственный технический университет,**

г. Новосибирск, kozzzlova1520@gmail.com

Научный руководитель: Макарова С. В., к.х.н.

Гидроксиапатит является основным неорганическим компонентом костей и зубов человека. Благодаря высокой биосовместимости он широко используется при создании биокерамических материалов и покрытий для эндопротезов. Однако незаменный гидроксиапатит обладает низкой остеокондуктивностью и не проявляет антибактериальных свойств. В настоящей работе изучено влияние висмут-силикатного замещения на структурные параметры гидроксиапатита, синтезированного механохимическим методом.

Hydroxyapatite is the main inorganic component of human bone and teeth. Due to its high biocompatibility, it is widely used in bioceramic materials and implants. However, unsubstituted hydroxyapatite has low osteoconductivity and no antibacterial properties. This study investigates the structural effects of bismuth-silicate substitution in hydroxyapatite synthesized by the mechanochemical method.

Гидрок시아патит (ГА) с химической формулой $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ широко применяется в остеорегенеративной медицине. Однако стехиометрический ГА не обладает антибактериальной активностью и имеет низкую механическую прочность. Эти качества достигаются путем изоморфных замещений в кристаллической решетке. Структура ГА имеет гексагональную сингонию с пространственной группой симметрии $P6_3/m$. Элементарная ячейка ГА состоит из 44 атомов: 6 фосфатных тетраэдров, 2 гидроксильных групп, расположенных на оси c , и 10 катионов кальция. Катионы кальция занимают две неэквивалентные позиции: Ca1 – образуют столбчатый участок, ионы располагаются друг под другом и координируются девятью атомами кислорода фосфатных групп; Ca2 – координируется шестью кислородами фосфатных групп и одним кислородом гидроксильной группы [1]. В структуре ГА возможно проводить все типы ионных замещений (катионные и анионные) [2].

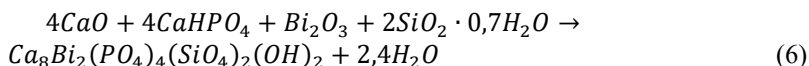
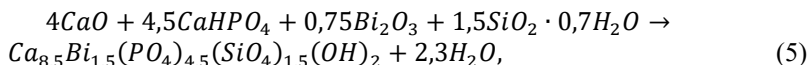
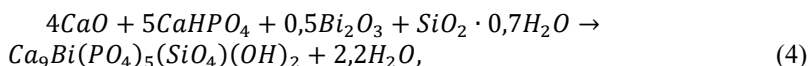
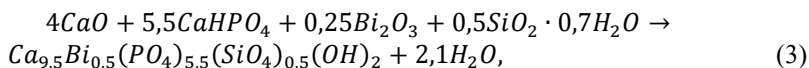
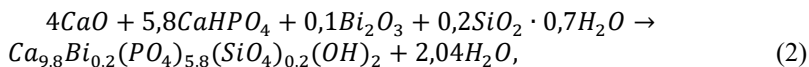
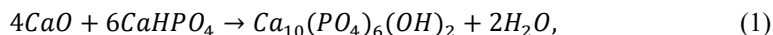
Замещение ионов кальция на катионы висмута в структуре ГА является мало изученной темой, но при этом соединения висмута (III) активно применяют в медицине, в качестве препаратов для лечения желудочно-кишечных, инфекционных заболеваний. Материалы, содержащие ионы висмута, демонстрируют высокую рентгеноконтрастность, в связи с этим соединения висмута добавляют в различные костные и зубные имплантаты для получения четких рентгеновских изображений. Катионы висмута также проявляют антибактериальную активность [3].

Фосфатные группы в структуре ГА могут быть замещены на *силикат-анионы*, которые оказывают влияние на синтез коллагена остеобластами, на процесс реминерализации, но при этом данный тип замещения понижает термическую стабильность ГА [4].

Таким образом, можно предположить, что одновременное введение катионов висмута (Bi^{3+}) и силикат-анионов (SiO_4^{4-}) в структуру ГА позволит получить материал с повышенной биорезорбируемостью, остеоиндуктивностью и антибактериальной активностью. В связи с этим, целью данной работы было определить возможность синтеза гидроксияпатита с одновременным двойным замещением на катионы висмута и силикат-анионы.

Синтез висмут-силикат-замещённого гидроксияпатита (BiSi-ГА) проводился методом механохимического синтеза (МХС) в планетарной

шаровой мельнице АГО-2 в течение 40 мин. Выход продукта составил порядка 90 %. Синтез осуществлялся согласно следующим реакциям, где $x(\text{Bi}, \text{Si}) = 0 - 2$, соответственно:



По данным РФА все синтезированные образцы являются однофазными и соответствуют структуре ГА (рис. 1). При увеличении концентрации катионов висмута и силикат-анионов наблюдается смещение дифракционных пиков в сторону меньших углов, что указывает на изменение параметров решетки ГА. Также наблюдается уменьшение интенсивности рефлексов при двойном замещении.

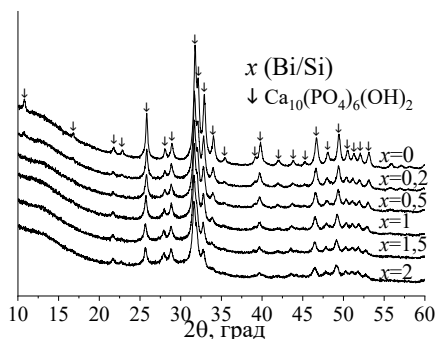


Рис. 1 – Дифрактограммы образцов BiSi-ГА после МХС в сравнении с незамещенным ГА ($x = 0$)

Уточнение параметров решетки методом Ритвельда показало, что с увеличением концентрации ионов-заместителей (x) параметры a и c возрастают (рисунок 2, а-б). Что обусловлено замещением на ионы с большим ионным радиусом: замещение Ca^{2+} (0,99 Å) на Bi^{3+} (1,31 Å) и PO_4^{3-} (0,35 Å) на SiO_4^{4-} (0,42 Å) [5]. ОКР с ростом x уменьшается (рис. 2, в).

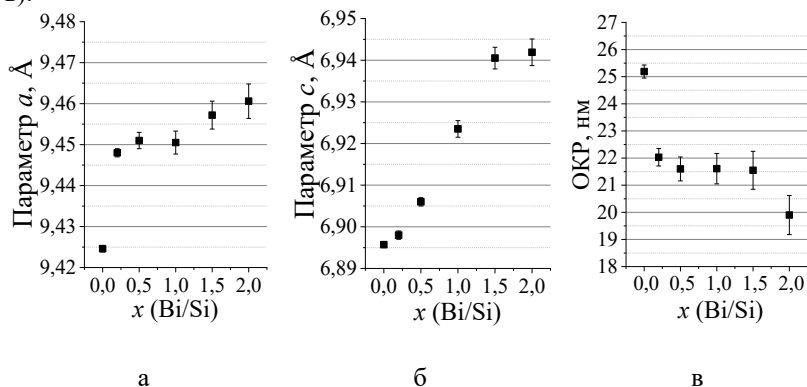


Рис. 2 – Параметры элементарной ячейки образцов BiSi -ГА после МХС в сравнении с незамещенным ГА ($x = 0$)

На ИК-спектрах (рис. 3) наблюдается уменьшение интенсивности полос поглощения колебаний фосфатных групп (961, 1049 см^{-3}) и появление полос поглощения колебаний силикатной группы (939 см^{-3}) [6]. Отсутствие полос поглощения колебаний гидроксильных групп (631 и 3571 см^{-3}) при $x \geq 0,2$ указывает на образование висмут-силикат-замещенного оксиапатита состава $\text{Ca}_{10-x}\text{Bi}_x(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{SiO}_4)_x\text{O}$.

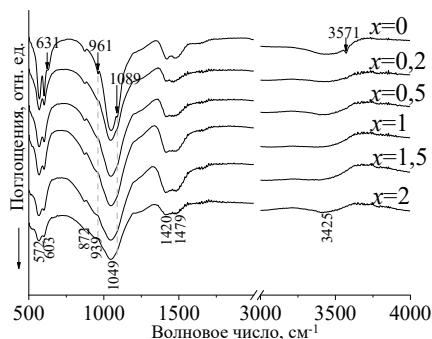
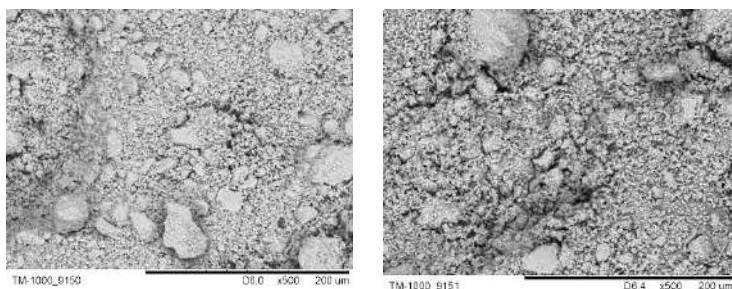


Рис. 3 – ИК-спектры образцов BiSi-ΓА после МХС в сравнении с незамещенным ΓА ($x = 0$)

Методом Ритвельда установлено, что размер кристаллитов BiSi-ΓА варьируется в пределах 19 – 22 нм (рис. 2, в). Анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии показал наличие агломератов размером 20 – 50 мкм, состоящих из наноразмерных частиц (рис. 4).



а

б

Рис. 4 – Морфология порошков BiSi-ΓА после МХС: (а) – $x = 0,2$;
(б) – $x = 0,5$

Таким образом, механохимический метод позволяет за короткое время (40 мин) получить однофазный наноразмерный висмут-силикат-замещенный апатит без дополнительной термической обработки. Показано, что одновременное ионное замещение на Bi^{3+} и SiO_4^{4-} приводит к увеличению параметров решетки ΓА, уменьшению ОКР и трансформации структуры ΓА в оксиапатит.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХТТМ СО РАН (проект 121032500064-8).

Литература:

1. Вересов А. Г., Путляев В. И., Третьяков Ю. Д. Химия неорганических биоматериалов на основе фосфатов кальция // Российский химический журнал. – 2004. – Т. 48, № 4. – С. 52–64.
2. Šupová M. Substituted hydroxyapatites for biomedical applications: a review // Ceramics international. – 2015. – Vol. 41, N 8. – P. 9203–9231.
3. Ciobanu G., Harja M. Bismuth-doped nanohydroxyapatite coatings on titanium implants for improved radiopacity and antimicrobial activity // Nanomaterials. – 2019. – Vol. 9, N 12. – P. 1696.
4. Effect of silicon level on rate, quality and progression of bone healing within silicate-substituted porous hydroxyapatite scaffolds / K.A. Hing, P.A. Revell, N. Smith, T. Buckland // Biomaterials. – 2006. – Vol. 27, N 29. – P. 5014–5026
5. Лурье Ю. Ю.. Справочник по аналитической химии. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1971. – 456 с.
6. Mechanochemical Synthesis of SiO_4^{4-} -Substituted Hydroxyapatite, Part II—Reaction Mechanism, Structure, and Substitution Limit / N.V. Bulina, M.V. Chaikina, A.S. Andreev, O.B. Lapina, A.V. Ishchenko, I.Y. Prosanov, K.B. Gerasimov, L.A. Solovyov // European Journal of Inorganic Chemistry. – 2014 – Vol. 2014, N 28. – P. 4810–4825.

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГИДРОКСИАПАТИТА С МУЛЬТИКАТИОННЫМ ЗАМЕЩЕНИЕМ

¹С. В. Макарова, ^{1,2}М. А. Козлова, ¹И. А. Бородулина

¹ Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,

² Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kozzzlova1520@gmail.com

Гидроксиапатит – известный материал в ортопедии и стоматологии. Структура гидроксиапатита склонна к ионным замещениям, которые модифицируют свойства апатита. Причем комбинация ионов-заместителей позволяет придавать материалу несколько разных свойств. В данной работе методом механохимического синтеза получен однофазный гидроксиапатит с одновременным замещением на катионы Zn и Mg. Установлено, что мультизамещение приводит к снижению параметров элементарной ячейки и влияет на координацию ОН-групп.

Hydroxyapatite is a well-known material in orthopedics and dentistry. Its structure is prone to ionic substitutions, which modify its properties. Moreover, the combination

of several ions allows the material to acquire several different properties. In this work, a single-phase hydroxyapatite co-substituted with Zn and Mg cations was synthesized via mechanochemical method. It was established that the multi-ion substitution leads to a decrease in the unit cell parameters and affects the coordination of OH-groups.

Гидроксиапатит (ГА , $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) является основным минеральным компонентом костной ткани и зубов позвоночных, что обуславливает его исключительную биосовместимость и остеокондуктивность. Благодаря этим свойствам, ГА используется в медицине для производства имплантатов, в качестве носителя для адресной доставки лекарственных средств и материала для сорбционной очистки. Однако стехиометрический ГА обладает рядом ограничений, таких как относительно низкая скорость биodeградации *in vivo* по сравнению со скоростью регенерации костной ткани, а также отсутствие антибактериальной активности, что повышает риск послеоперационных инфекций [1].

Ключевой особенностью ГА является гибкость его кристаллической структуры. Кристаллическая решетка ГА позволяет проводить широкий спектр ионных замещений на всех трех позициях: катионной (Ca^{2+}), анионной (PO_4^{3-}) и (OH^-). Эта способность к изоморфному замещению позволяет целенаправленно регулировать физико-химические и биологические характеристики материала [2-3].

Так, замещение катионов кальция на катионы цинка приводит к искажению кристаллической решетки и снижению термической стабильности ГА. При этом катионы цинка придают материалу выраженные антибактериальные свойства, однако высокие концентрации катионов цинка могут оказывать цитотоксическое действие и подавлять остеогенез [4].

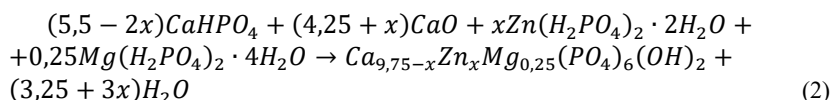
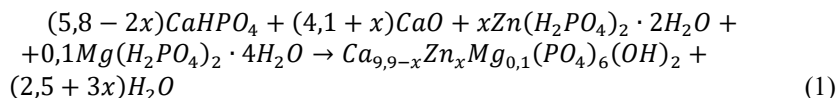
Введение катионов магния также дестабилизирует структуру ГА, понижает кристалличность и значительно повышает его растворимость и скорость биodeградации. В отличие от катионов цинка, катионы магния являются мощными стимуляторами остеогенной активности, усиливая пролиферацию и дифференцировку клеток остеобластов, но не проявляют антибактериальную активность [4].

Одновременное замещение на катионы цинка и магния является перспективной идеей для создания многофункционального материала, сочетающего в себе преимущества обоих ионов. Такой подход позволит получить биоактивный материал, обладающий одновременно остеointегрирующими свойствами и антибактериальной активностью. Синергетический эффект от их одновременного введения может также привести к улучшению растворимости ГА.

Для синтеза замещенного ГА чаще всего применяют жидкофазные (осаждение, гидротермальный метод) и твердофазные методы [5]. Однако твердофазный механохимический синтез (МХС) обладает рядом существенных преимуществ – синтез в одну стадию за короткое время, отсутствие необходимости использования органических растворителей, а также возможность получения наноразмерных продуктов с контролируемым однородным распределением ионов-заместителей в кристаллической решетке ГА. Это делает МХС высокоэффективным и экологически безопасным методом для создания функциональных материалов.

Целью данной работы является проведение механохимического синтеза гидроксипатита с одновременным мультикатионным замещением катионов кальция на ионы цинка и магния.

МХС цинк-магний-замещенного гидроксипатита (ZnMg-ГА) проводился в планетарной шаровой мельнице АГО-2 при скорости вращения 1800 об/мин в течение 40 мин. Для предотвращения образования натрижа железа в продуктах, была проведена предварительная футеровка барабанов и шаров смесью исходных реагентов. Исходные реагенты были взяты в стехиометрическом соотношении согласно реакциям 1 – 2, где $x = 0; 0,05; 0,10; 0,25; 0,50$.



Продукты реакций исследовали комплексом аналитических методов. ИК-спектры снимали на спектрометре «Инфралюм-801» (Россия). Дифрактограммы регистрировали на порошковом дифрактометре Bruker D8 Advance (Германия). Уточнение структурных параметров и области когерентного рассеяния (ОКР) проводили по методу Ритвельда в программе Toras 4.2 (Bruker, Германия).

ИК-спектры полученных образцов (рис. 1) содержат все полосы, характерные для колебаний в структуре ГА: колебания фосфатного тетраэдра ($570, 602, 961, 1045$ и 1091 см^{-1}) и гидроксильных групп (либрационные 633 см^{-1} и валентные 3571 см^{-1}). Показано, что с ростом x интенсивность полос поглощения колебаний ОН-групп уменьшается. Данное явление обусловлено влиянием катионов-заместителей в структуре ГА. Помимо основных полос ГА ИК-спектры содержат

примесные полосы колебаний адсорбированных из воздуха карбонат-ионов (878 , 1420 и 1472 см^{-1}) и воды (1620 и 3435 см^{-1}).

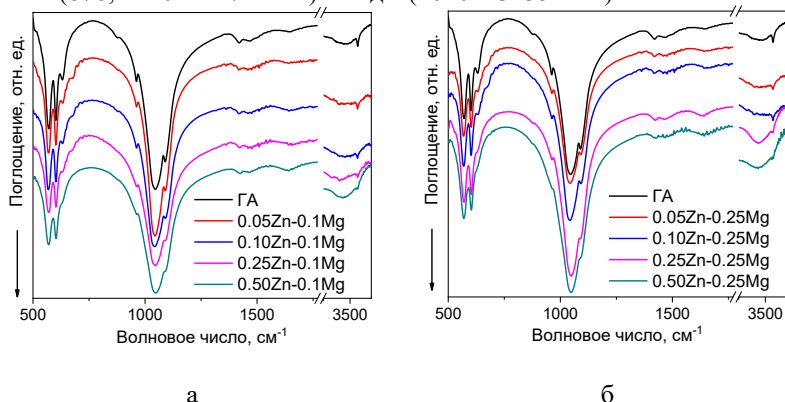


Рис. 1 – ИК-спектры образцов ZnMg-ΓА, полученных МХС по реакциям 1 (а) и 2 (б)

Рентгенофазовый анализ показал, что все синтезированные образцы ZnMg-ΓА являются однофазными (рис. 2). Все рефлексы относятся к единственной фазе ΓА (ICDD PDF 000-09-0432). Уточнение параметров решетки методом Ритвельда показало, что одновременное замещение на катионы цинка и магния понижает параметры решетки a и c в сравнении с незамещенным ΓА (рисунок 3). Причем чем выше степень замещения на катионы цинка (x), тем ниже значение параметров. Также параметры уменьшаются с увеличением концентрации катионов магния. Данные изменения связаны с размерным фактором ионов заместителей, которые имеют меньший ионный радиус ($R_{\text{Zn}^{2+}} - 0,74\text{ Å}$, $R_{\text{Mg}^{2+}} - 0,65\text{ Å}$), чем катион кальция ($0,99\text{ Å}$) [6]. Стоит отметить, что ионы цинка понижают ОКР апатита, в то время как ионы магния увеличивают (рис. 3, в).

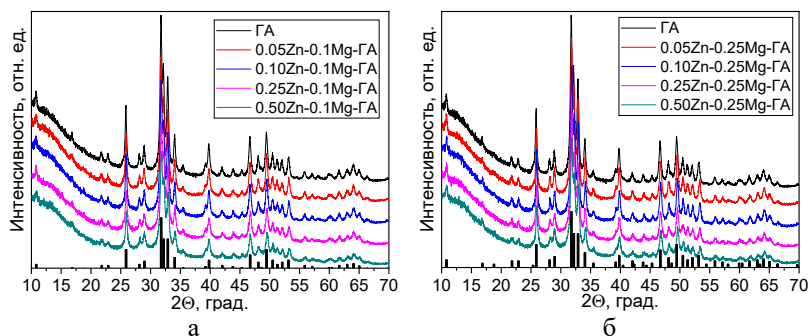


Рис. 2 – Дифрактограммы образцов ZnMg-ГА, полученных МХС по реакциям 1 (а) и 2 (б)

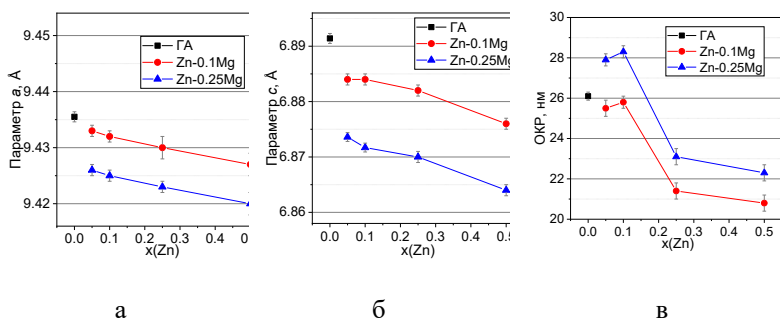


Рис. 3 – Изменение параметров элементарной ячейки a (а), c (б) и ОКР (в) в зависимости от концентрации цинка (x) для образцов ZnMg-ГА, полученных МХС по реакциям 1 и 2

По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что механохимический метод синтеза позволяет за 40 мин получить однофазный наноразмерный гидроксиапатит с одновременным катионным замещением на ионы цинка и магния. Мультизамещение оказывает влияние на координацию гидроксильных групп в структуре ГА. Одновременное замещение катионов кальция на катионы цинка и магния значительно понижает значение параметров решетки апатита в сравнении с незамещенным ГА. Показано, что ионы магния повышают ОКР апатита, в то время как ионы цинка понижают его.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-73-00238, <https://rscf.ru/project/25-73-00238/>.

Литература:

1. Dorozhkin S. V. Medical application of calcium orthophosphate bioceramics // BIO. – 2011. – Vol. 1, N 1. – P. 1–51.
2. Šupová M. Substituted hydroxyapatites for biomedical applications: a review // Ceramics international. – 2015. – Vol. 41, N 8. – P. 9203–9231.
Substituted hydroxyapatite: a recent development / Y. Jiang, Z. Yuan, J. Huang // Materials Technology. – 2020. – Vol. 35, N 11-12. – P. 785–796.
3. Cationic substitutions in hydroxyapatite: Current status of the derived biofunctional effects and their in vitro interrogation methods / T. Tite, A.C. Popa, L.M. Balescu, I.M. Bogdan, I. Pasuk, J.M. Ferreira, G.E. Stan // Materials. – 2018. – Vol. 11, N 11. – P. 2081.
4. Synthesis methods for nanosized hydroxyapatite with diverse structures / M. Sadat-Shojai, M.T. Khorasani, E. Dinpanah-Khoshdargi, A. Jamshidi // Acta biomaterialia. – 2013. – Vol. 9, N 8. – P. 7591–7621.
5. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1971. – 456 с.

ОЦЕНКА ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ 5XHM, 11X4B2MФ3C2 И 95X6M3Ф3СТ ПРИ СУХОМ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Д. И. Котов^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

г. Новосибирск, lightstrikes@yandex.ru

Научный руководитель: Батаев А. А., д.т.н., профессор

Методика исследований включала триботехнические испытания на сухое трение скольжения сталей марок 5XHM, 11X4B2MФ3C2 и 95X6M3Ф3СТ. В качестве контртела использовали цилиндрические инденторы из сплава ТТ10К8Б. Режимы испытаний: давление 40, 80 и 100 МПа, скорость возвратно-поступательного движения 0,1 м/с. Критерием износостойкости служил линейный износ, измеренный после 10 часов испытаний.

The research methodology involved tribological tests for dry sliding friction of 5KhNM, 11Kh4V2MF3S2, and 95Kh6M3F3ST steels. Cylindrical indenters made of TT10K8B alloy were used as the counter-body. The testing conditions were as follows: pressure of 40, 80, and 100 MPa, and a reciprocating motion speed of 0.1 m/s. The linear wear, measured after 10 hours of testing, served as the wear resistance criterion.

Испытания образцов в условиях сухого трения скольжения при возвратно-поступательном движении проводились на установке сухого трения, разработанной в КТФ ИГиЛ СО РАН [1]. Данное оборудование

предназначено для имитации условий работы пар трения, связанных с разделкой облученных тепловыделяющих сборок.

В исследовании использовались термически обработанные инструментальные стали 5ХНМ, 11Х4В2МФ3С2 и 95Х6М3Ф3СТ. Основные характеристики материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – химический состав и твердость анализируемых сталей

Марка стали	HR C	Массовая доля элементов, %							
		C	Si	Mn	Mo	Ni	V	Cr	W
5ХНМ	48	0,57	0,25	0,65	0,2	1,6	-	0,7	-
11Х4В2МФ3С2	62	1,09	1,55	0,35	0,4	0,26	2,55	3,8	2,4
95Х6М3Ф3СТ	64	0,94	0,65	0,3	0,35	0,23	2,55	5,4	<0, 5

Инденторами в парах трения «сталь-твердый сплав» служили цилиндры диаметром 8 мм из сплава ТТ10К8Б (WC – 83,3; TiWC – 5,2; TaNbC6 – 6; Co – 5,5; HRC – 72).

Для получения высоких механических свойств испытываемые стали подвергали термической обработке согласно режимам:

- 5ХНМ: Закалка 850 °С в масле, отпуск при 400 °С. Твердость образцов составила 48 HRC.
- 11Х4В2МФ3С2: Закалка 1060 °С в масле, трехкратный отпуск при 525 °С (время выдержки – 1 час). Твердость достигала 62 HRC.
- 95Х6М3Ф3СТ: Закалка 1225 °С в масле, трехкратный отпуск при 545 °С (время выдержки – 1 час). Твердость – 64 HRC.

Трибологические исследования образцов.

На рисунке 1 представлены величины линейного износа стальных образцов в зависимости от установленного давления при проведении испытания.

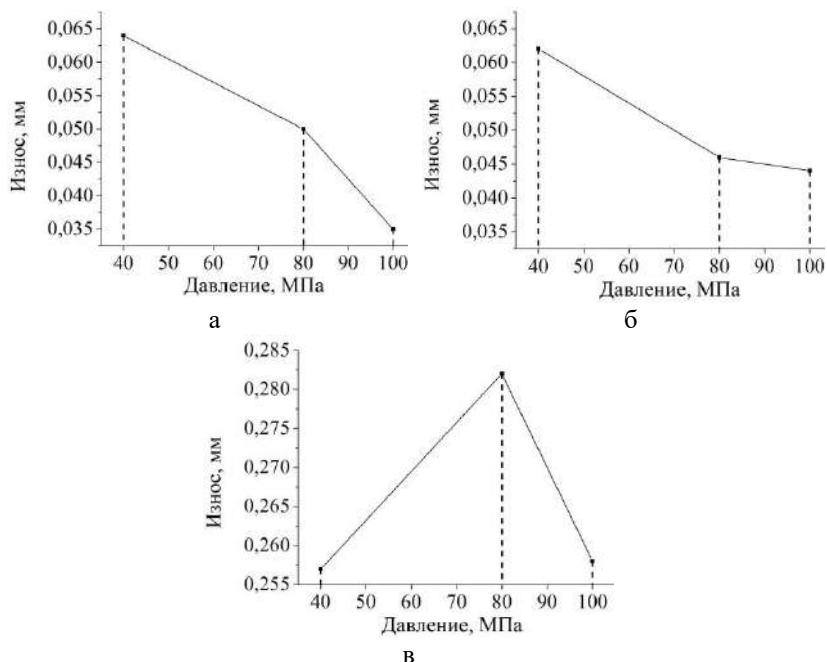


Рис. 1 – Графики линейного износа стальных образцов:
а – 95Х6М3Ф3СТ; б – 11Х4В2МФ3С2; в – 5ХНМ

Результаты испытаний показали, что с ростом нагрузки износостойкость инструментальных сталей 11Х4В2МФ3С2 и 95Х6М3Ф3СТ увеличивается. Данное явление, вероятно, обусловлено их структурой и химическим составом. Легирующие элементы, такие как Cr, V, W, Mo способствуют формированию твердых, термически устойчивых карбидов, которые препятствуют разупрочнению поверхностных слоев.

Величина линейного износа стальных образцов из материала 5ХНМ составляет 0,254 мм, 0,282 мм и 0,256 мм при нагрузках 40, 80 и 100 МПа соответственно. Полученные значения в 4 и более раз выше, по сравнению со сталями 11Х4В2МФ3С2 и 95Х6М3Ф3СТ. Очевидно, что различия в поведении указанных материалов при трении в условиях сухого трения скольжения обусловлены особенностями структурных преобразований в пограничных слоях стальных образцов. К числу таких преобразований относятся фазовые превращения, повышение плотности дислокаций, измельчение зерен (до наноразмерного состояния), двойникование [2,3].

Анализ данных триботехнических испытаний должен учитывать структурные преобразования в зоне контакта поверхностей. Согласно концепции А.В. Колубаева и др. [4], существует прямая зависимость между скоростью изнашивания материала и кинетикой формирования деформированного слоя: более высокая скорость износа наблюдается при быстром образовании утолщенного слоя с фрагментированной структурой.

По результатам триботехнических испытаний сталей 5ХНМ, 11Х4В2МФ3С2 и 95Х6М3Ф3СТ можно сделать следующие выводы:

1. Уровень износостойкости сталей 11Х4В2МФ3С2 и 95Х6М3Ф3СТ предполагает возможность их использования в парах трения с отсутствием смазочных материалов.

2. Значения линейного износа стальных образцов из сплавов 11Х4В2МФ3С2 и 95Х6М3Ф3СТ уменьшаются при изменении давления в испытаниях с 40 до 100 МПа.

Литература:

1. Патент № 2 745 799 Российская Федерация, МПК G01N 3/56. Установка для испытания пары сухого трения на износ при возвратно-поступательном движении / Стояновский О.И., Галуцкий В.Г., Черендин А.Ф.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН). – № 2020120734; заявлен 16.06.2020; опубликован 01.04.2021. Бюл. № 10 – 2с.

2. Коршунов Л. Г. Structural transformations and tribological effects in the surface layer of austenitic chromium-nickel steel initiated by nanostructuring and oxidation / Л.Г. Коршунов, Н.Л. Черненко // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные излучения. – 2020. – № 6. – С. 95-101. – (На англ. яз.).

3. Fadin V. V. The surface layer states in metallic materials subjected to dry sliding and electric current / V.V. Fadin, M.I. Aleutdinova, A.I. Potekaev, O.A. Kulikova // Russian Physics Journal. – 2017. – Vol. 60. No. 5. – P. 908-914.

4. Колубаев А. В. Evolution of the structure of the surface layer of metals under conditions of sliding friction / А.В. Колубаев, С.Ю. Тарасов, О.В. Сизова [и др.] // Трение и износ. – 2007. Т. 28, №6. – С. 582-590. – (На англ. яз.).

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО ОБЪЕМНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕКЛА НА ОСНОВЕ ЦИРКОНИЯ

И. Е. Насенник¹

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, i.e.nasennik@srf-skif.ru

Научный руководитель: Батаев И.А., д.т.н., профессор

Исследовано влияние температуры отжига на трибологические характеристики высокоэнтропийного объемного металлического стекла (ВЭОМС) на основе циркония. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что повышение температуры отжига выше температуры стеклования приводит к начальной нанокристаллизации аморфной матрицы. Проведены испытания на износостойкость и микротвердость.

The influence of annealing temperature on the tribological characteristics of a zirconium-based high-entropy bulk metallic glass (HE-BMG) was investigated. X-ray diffraction analysis revealed that an increase in the annealing temperature above the glass transition temperature leads to the initial nanocrystallization of the amorphous matrix. Wear resistance and microhardness tests were conducted.

Высокоэнтропийные объемные металлические стекла (ВЭОМС) представляют собой перспективный класс аморфных материалов, сочетающих высокую прочность, твердость и коррозионную стойкость [1,2]. Однако их широкое применение в качестве износостойких покрытий и конструкционных элементов ограничивается недостаточной изученностью влияния термической обработки на эксплуатационные свойства, в частности, на трибологические характеристики. Целью данной работы являлось установление корреляции между температурой отжига, структурой и износостойкостью ВЭОМС $Zr_{35}Hf_{17.5}Ti_{5.5}Al_{12.5}Co_{7.5}Ni_{12}Cu_{10}$.

Исследования проводились на образцах ВЭОМС системы $Zr_{35}Hf_{17.5}Ti_{5.5}Al_{12.5}Co_{7.5}Ni_{12}Cu_{10}$. Согласно данным дифференциального термического анализа температура стеклования (T_g) исследуемого сплава составила 450 °С (соответствует предыдущим исследованиям [3]). Отжиг проводился в вакууме при температурах от 370 °С до 460 °С с шагом 30 °С в течении 180 минут, что охватывает область структурной релаксации, а также область начала нанокристаллизации. Структурное состояние образцов до и после отжига контролировалось методом рентгенофазового анализа (РФА). Трибологические испытания проводились по схеме «шар-плоскость» в условиях сухого трения скольжения с использованием шарика из ШХ15 в качестве контртела. В процессе испытаний определялся коэффициент трения и удельная

скорость износа. Микротвердость измерялась по методу Виккерса при нагрузке 200 грамм.

Согласно анализу полученных результатов, наиболее перспективным режимом термической обработки, является отжиг при температуре 370 °С. При данном режиме происходит незначительное повышение уровня микротвердости ВЭОМС, без появления в структуре нанокристаллов, приводящих к охрупчиванию. Совокупность данных явлений приводит к уменьшению коэффициента трения, вследствие изменения типа износа с абразивного на адгезионно-окислительный.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FSUN-2024-0005): «Структурные преобразования в тонких поверхностных слоях металлических сплавов при экстремальном тепловом и деформационном воздействиях».

Литература:

1. Cornuault P. H. et al. On the diversity of accommodation mechanisms in the tribology of Bulk Metallic Glasses //Tribology International. – 2020. – Т. 141. – С. 105957.
2. Betekhtin V. I. et al. Excess free volume and mechanical properties of amorphous alloys //Physics of the Solid State. – 1998. – Т. 40. – №. 1. – С. 74-78.
3. О природе избыточной внутренней энергии и энтропии металлических стекол / А. С. Макаров, М. А. Кретьева, Г. В. Афонин, Ц. Ч. Цзиао, А. М. Глезер, Н. П. Кобелев, В. А. Хоник // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2022. – Т. 115. – №. 2. – С. 110-116.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ СОУДАРЕНИЕМ ПЛАСТИН МЕДИ И НИКЕЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЦЫ СОЕДИНЕНИЯ

А. С. Ниговий

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, a.pegovey@mail.ru

Научный руководитель: Огнева Т. С., к.т.н. доцент

В работе исследован процесс высокоскоростного соударения пластин меди и никеля с использованием метода гидродинамики сглаженных частиц (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH), который хорошо воспроизводит процесс ударного взаимодействия материалов. В рамках исследования были построены несколько моделей сварки медных и никелевых пластин при различных параметрах нагружения. Это позволило проанализировать влияние угла и скорости столкновения, геометрии системы и параметров материала на характер формируемого соединения. Исследование проводилось в программной среде ANSYS Autodyn.

The paper investigates the process of high-speed collision of copper and nickel plates using the method of Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), which reproduces the process of impact interaction of materials well. As part of the study, several welding models of copper and nickel plates were constructed at various loading parameters. This made it possible to analyze the influence of the collision angle and velocity, the geometry of the system and the material parameters on the nature of the formed joint. The study was conducted in the ANSYS Autodyn software environment.

В работе исследован процесс высокоскоростного соударения пластин меди и никеля с применением SPH-моделирования. SPH – это бессеточный метод моделирования для решения задач динамики сплошных сред с большими степенями деформациями. Одним из таких методов является магнитно-импульсная сварка. В отличие от конечно-элементного метода, SPH не требует построения сетки: материал моделируется системой частиц, каждая из которых несёт информацию о массе, скорости, плотности, давлении и других параметрах. Это делает метод особенно устойчивым при моделировании разрушений и динамически изменяющихся границ. При расчетах использовалась прочностная модель Джонсона-Кука и уравнение состояния Shock, поскольку они являются наиболее подходящими для описания процессов, сопровождающихся интенсивными динамическими нагрузками. Целью данного исследования является изучение влияния угла и скорости столкновения на характер формируемого соединения (шва). Полученные в работе данные будут использованы для оптимизации режимов магнитно-импульсной сварки пластин меди и никеля.

В ходе исследования было построено несколько моделей соударения пластин меди длиной 7 и толщиной 1,5 мм и никеля длиной 7 и толщиной 1 мм. В экспериментах варьировались угол и скорость соударения. Углы столкновения пластин составляли 10° и 13°, а скорости метания медной пластины – 400 и 600 м/с.

Для контроля параметров в фиксированных точках образца в области соударения вблизи поверхности пластин было расположено 40 датчиков, которые перемещались вместе с деформируемым материалом. Эти датчики фиксировали характер изменения температур, давления и степени пластической деформации. На основе данных, зафиксированных датчиками, были построены графики и выделены максимальные значения. Следует отметить, что данные были взяты не со всех размещенных датчиков, поскольку часть из них вылетели в струю во время соударения.

На основе полученного соединения пластин можно сделать выводы относительно того, какая из конфигураций является оптимальной, поскольку на модели хорошо виден сформировавшийся шов, а также возникшие дефекты, волны и вихри. При больших скоростях соударения возрастает вероятность возникновения вихрей и пустот в них. Наличие пустот может негативно сказаться на прочности и долговечности соединения. В то же время увеличение угла не так сильно влияет на морфологию шва, однако значения параметров, зафиксированные датчиками, несколько отличаются.

Были проведены расчётные эксперименты, в которых не использовалась прочностная модель для медной пластины и дополнительные исследования, но уже с заданной прочностной моделью чистой меди. В соединениях без прочностной модели наблюдалось ярко выраженное волнообразование и вихри, в то время как в экспериментах с прочностной моделью видно, что на малых скоростях шов более прямой с небольшим волнообразованием приблизительно от середины до конца пластин, а на больших скоростях волнообразование сильнее, но без дефектов и вихрей. Кроме того, сравнение данных с датчиков показало, что в эксперименте с заданной прочностной моделью меди значения температур ниже на малых скоростях, но выше на больших скоростях, и остальные параметры меняются примерно с такой же закономерностью. По результатам работы можно сделать вывод, что наличие прочностной модели существенно изменяет морфологию сварного шва в паре «медь-никель», шов становится менее волнистый и менее деформированный, а значения температур и давлений меняются в зависимости от скорости соударения.

Литература:

1. Monaghan J. J. Smoothed particle hydrodynamics //Reports on progress in physics. – 2005. – Т. 68. – №. 8. – С. 1703.
2. Liu G. R., Liu M. B. Smoothed particle hydrodynamics: a meshfree particle method. – World scientific, 2003.
3. Abrahamson G. R. Permanent Periodic Surface Deformations Due to a Traveling Jet. Journal of Applied Mechanics. – 1961. – № 28(4). – P. 519.
4. Zhang S. et al. Effect of process parameters on wavy interfacial morphology during magnetic pulse welding //Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2021. – Т. 143. – №. 1. – С. 011010.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ МИКРОСТРУКТУРЫ, ТВЕРДОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ф. Р. Овчинников

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, fedor.ovchinnikov.02@gmail.com,

i.bataev@corp.nstu.ru.

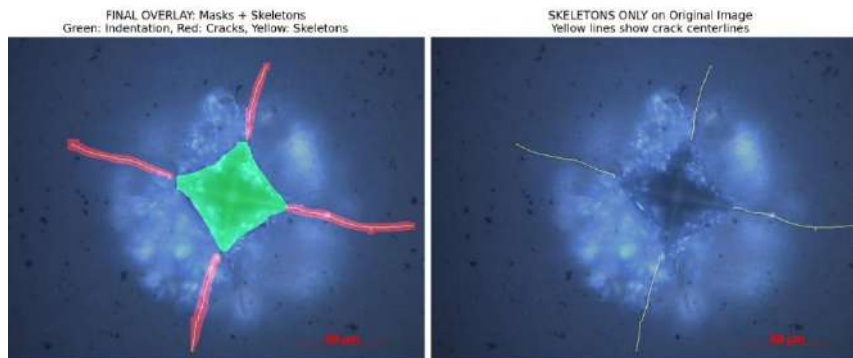
Научный руководитель: Батаев И. А., д.т.н., профессор

Работа посвящена автоматизированной оценке ключевых характеристик микроструктуры и свойств материалов, таких как твердость и трещиностойкость. Для решения задачи использованы библиотеки Python, в частности OpenCV для анализа изображения, а также фреймворк YOLO для детекции и классификации.

The work is devoted to the automated assessment of key microstructural characteristics and material properties, such as hardness and crack resistance. Python libraries, in particular OpenCV for image analysis, as well as the YOLO framework for detection and classification, were used to solve the problem.

Потребность в автоматизации материаловедческих исследований обусловлена необходимостью исключить субъективный человеческий фактор и повысить скорость анализа. В связи с этим, цель данной работы – создание метода автоматизированной оценки твердости, трещиностойкости и характеристик микроструктуры материалов.

В экспериментальной части работы была проведена серия измерений твёрдости и трещиностойкости керамики с использованием метода индентирования. Таким образом была сформирована база данных, содержащая более 200 микрофотографий индентированных областей.



Данная база данных была использована для обучения модели. Каждое изображение было обработано с использованием фреймворка YOLO с целью разметки области укола и исходящих из нее трещин. На основе библиотеки OpenCV был реализован код для обучения модели и последующей визуализации результатов. Пример результата работы алгоритма представлен на рисунке 1.

Рис. 1 – Итоговое изображение нахождения области индентирования и трещин

Таким образом, в результате проведенной работы был разработан подход, позволяющий автоматически определять площадь отпечатка и длину расходящихся от него трещин, что позволяет определять такие механические свойства, как твердость и трещиностойкость с использованием формулы, предложенной в работе [1]:

$$K_{Ic} = 0,048 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^{-0,5} \cdot \left(\frac{H_v}{E\Phi}\right)^{-0,4} \cdot \frac{H_v \cdot a^{0,5}}{\Phi}, \text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$$

где HV – твердость, ГПа; E – модуль Юнга, c – длина радиальной трещины, измеренная из центра отпечатка, a – полудиагональ отпечатка, Φ – константа ($\Phi = 3$).

На следующем этапе исследований планируется использовать машинное обучение для определения параметров зёрненной структуры материалов и оценки объёмной доли структурных составляющих

Литература:

1 Niihara K. Evaluation of KIC of brittle solids by the indentation method with low crack-to-indent ratios / K. Niihara, R. Morena, D.P.H. Hasselman // Journal of materials science letters. – 1982. – V. 1. – № 1. – pp. 13-16.

СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ CORE-SHELL $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГИПЕРТЕРМИИ

А. А. Осипов^{1,2}, В. А. Бардин²

**¹Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет,
г. Новосибирск, a.osipov2@g.nsu.ru**

**²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
Научный руководитель: Цыганкова А. Р^{1,2}, к.х.н., доцент**

В работе представлены синтез и комплексное исследование магнитных наночастиц со структурой «ядро-оболочка» $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$. Синтез ядра магнетита (Fe_3O_4) проводили методом соосаждения, а последующее покрытие аморфным диоксидом кремния (SiO_2) осуществляли методом золь-гель синтеза в микроэмульсии на основе ПАВ Brij L4. Для подтверждения структуры, состава и морфологии полученных нанокомпозитов был использован комплекс аналитических методов, включая РФА, EDX и ПЭМ. РФА-анализ подтвердил формирование кристаллической фазы магнетита во всех синтезированных партиях.

The synthesis and comprehensive study of magnetic nanoparticles with a core-shell structure of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ are presented. The magnetite (Fe_3O_4) core was synthesized by co-precipitation. The subsequent coating with amorphous silica (SiO_2) was performed via a sol-gel method in a microemulsion based on the surfactant Brij L4. To confirm the structure, composition, and morphology of the obtained nanocomposites XRD, EDX, and TEM was used. XRD analysis confirmed the formation of the crystalline magnetite phase in all synthesized batches. EDX and TEM data confirmed the formation of a silica shell.

Гипертермия – это метод лечения, при котором за счет внешних физических воздействий температура опухолевой ткани повышается примерно до 41–45 °C [1]. Один из способов улучшить данный метод лечения – использовать магнитные наноматериалы. Наиболее перспективным материалом для гипертермии являются наночастицы со

структурой core-shell «ядро-оболочка» $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$, где в качестве магнитного ядра выступает магнетит Fe_3O_4 , а оболочкой – аморфный диоксид кремния SiO_2 .

В данной работе были синтезированы и охарактеризованы наночастицы $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$. Использованы методы просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (Energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX) и рентгенофазового анализа (РФА).

Синтез наночастиц Fe_3O_4 проводили методом соосаждения хлорида железа (III) (FeCl_3) и сульфита натрия (Na_2SO_3) в водном растворе аммиака. Сульфит натрия использовали в качестве восстановителя для обеспечения необходимого соотношения ионов $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, требуемого для формирования фазы магнетита. Наночастицы магнетита были покрыты аморфной диоксидкремниевой оболочкой (SiO_2) методом золь-гель синтеза в обратных мицеллах. Гидролиз и конденсация тетраэтилортосиликата (TEOS) проводились в микроэмульсии «water-in-oil» (вода в масле) на основе гептана, поверхностно-активного вещества Brij L4 и водно-спиртовой смеси, что обеспечило формирование однородного покрытия заданной толщины. Для проверки повторяемости результатов синтеза, были созданы три партии частиц (далее P1, P2, P3).

Далее, в качестве примера, представлены результаты EDX анализа для образца P1 (рис. 1).

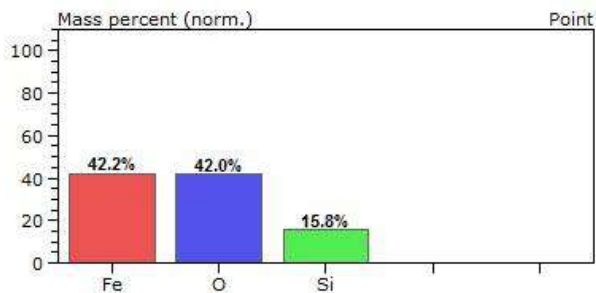


Рис. 1 – EDX анализ наночастиц $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ P1

EDX-анализ показал наличие Fe, O и Si во всех образцах, подтвердив формирование целевого нанокompозита. Качественное наличие кремниевой оболочки не вызывает сомнений. Количественная оценка выявила вариабельность толщины покрытия между партиями: атомные отношения Fe/Si составили от 1.3 до 4.0. Наилучшая воспроизводимость по толщине оболочки наблюдалась для партий P1 и P3.

Далее представлены результаты РФА анализа (рис. 2).

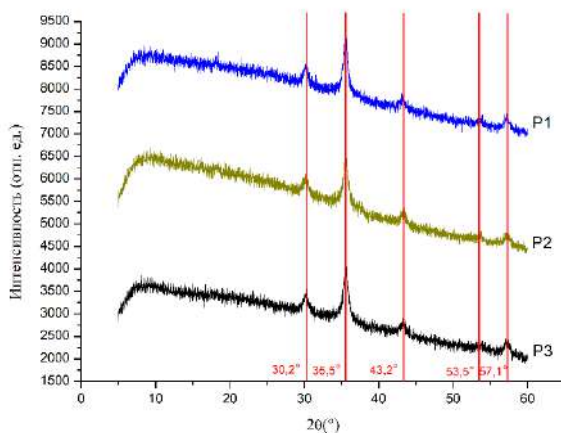


Рис. 2 – РФА наночастиц $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$.

РФА-анализ всех партий нанокомпозитов $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ выявил наличие только кристаллической фазы магнетита (пики при 2θ : 30,1°; 35,5°; 43,2°; 53,5°; 57,1°). Отсутствие дополнительных пиков подтверждает чистоту синтеза и аморфный характер оболочки. Дифрактограммы идентичны для всех партий, что демонстрирует высокую воспроизводимость метода в отношении формирования магнетитового ядра.

Далее представлен результат ПЭМ для образца P1 (Рис. 3).

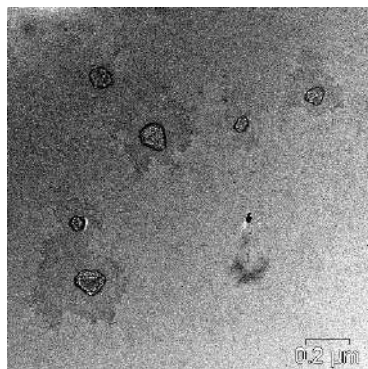


Рис. 3 – ПЭМ наночастиц $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ P1

ПЭМ-анализ подтвердил формирование наночастиц со структурой «ядро-оболочка» в партиях P1 и P3, где наблюдаются округлые частицы с плотным ядром и выраженной оболочкой. В отличие от них, партия P2 состоит из более мелких частиц со слабо выраженной оболочкой, что объясняет высокое отношение Fe/Si, зафиксированное в EDX-анализе.

В рамках работы успешно синтезированы и охарактеризованы магнитные наночастицы со структурой $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$. Методом РФА подтверждена кристалличность ядра магнетита, а данные EDX и ПЭМ однозначно доказали формирование кремниевой оболочки. Предложенный метод синтеза демонстрирует высокую воспроизводимость в отношении формирования ядра. Полученные нанокомпозиты проявляют значительный потенциал для применения в биомедицине, в частности в качестве агентов для магнитной гипертермии в терапии онкологических заболеваний, что обусловлено сочетанием магнитного ядра и биосовместимой оболочки из диоксида кремния.

Литература:

1. Baronzio G. et al. A brief overview of hyperthermia in cancer treatment //J Integr Oncol. – 2014. – Т. 3. – №. 115. – С. 2.

РАЗРУШЕНИЕ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ С ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕМ

С. В. Станкевич

Новосибирский государственный технический университет, г.

Новосибирск, stankevich.2016@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Батаев А. А., д.т.н., профессор

С использованием разработанной установки проведены триботехнические испытания образцов из стали Гадфильда в аустенитном состоянии. Методом растровой электронной микроскопии зафиксированы основные дефекты, формирующиеся на поверхности образцов в процессе изнашивания. На основе эволюции поверхностных дефектов выявлены особенности механизмов разрушения поверхностных слоев стали Гадфильда в условиях сухого трения с проскальзыванием.

Using the developed installation, tribotechnical tests were carried out on samples of Hadfield steel in the austenitic state. The main defects formed on the surface of the samples during the wear process were recorded using scanning electron microscopy. Based on the evolution of surface defects, the mechanisms of destruction of the surface layers of Hadfield steel under dry sliding friction conditions were identified.

Изучение механизмов изнашивания представляет научную задачу, решение которой лежит в основе разработки технических решений, позволяющих повысить износостойкость материалов [1-3].

К числу наиболее известных материалов триботехнического назначения относится легированная марганцем сталь Гадфильда [4]. Характерной особенностью стали Гадфильда, отличающей ее от других типов высокопрочных сплавов, которые обладают высоким уровнем триботехнических свойств, является слабая связь износостойкости материала с твердостью [5].

Несмотря на большой объем исследований, связанных с оценкой поведения стали Гадфильда в процессе изнашивания, работ, характеризующих износостойкость высокомарганцовистых аустенитных сталей при динамическом взаимодействии с металлическим индентором, сопровождающемся поверхностным упрочнением и активизацией диффузионных процессов, крайне мало.

Цель данной работы заключается в изучении механизма деградации поверхностных слоев образцов из стали Гадфильда при ударном воздействии цилиндрического ролика, скользящего и катящегося по поверхности трения. Одна из методических задач, поставленных в работе, связана с разработкой установки трения, позволяющей одновременно реализовать три вида механического воздействия на образцы из исследуемых материалов – удар, скольжение и качение.

Триботехнические исследования материалов проводили на оригинальной установке, общий вид и основные элементы которой представлены на рис. 1. В процессе триботехнических испытаний реализуется схема трения качения цилиндрического контртела с проскальзыванием относительно жестко закрепленного образца.



Рис. 1 – Установка для проведения триботехнических испытаний.
а – общий вид, б – 3D-модель установки.

1 – исследуемый образец, 2 – контртело (стальной цилиндр)

Объектами исследования являлись образцы из стали Гадфильда, выплавленные в электрической индукционной печи. Основными

элементами, входящими в состав сплава, являются марганец (12,5 масс. %) и углерод (1,12 масс. %). Кроме этих элементов в отливках присутствуют хром (0,25 масс. %), кремний (0,45 масс. %), фосфор (0,068 масс. %), сера (0,037 масс. %). Объекты исследования готовили с использованием стандартной методики, включающей операции шлифования и полирования.

Примеры дефектов, характерных для процесса деградации поверхности трения, зафиксированы методом растровой электронной микроскопии (рис. 2). К их числу относятся трещины, распространяющиеся перпендикулярно поверхности трения (1), а также фрагменты деформированного контртела сплава (2), и участки, в пределах которых произошло отслоение поверхностно деформированных слоев (3). Таким образом стойкость материала в процессе триботехнических испытаний определяется той скоростью, с которой происходит отслоение материала при его взаимодействии с контртелом.

Известно, что в результате интенсивной пластической деформации в поверхностном слое стали возрастает плотность дислокаций и вакансий, а также ускоряются диффузионные процессы, способствующие окислению металла [6]. Такой характер структурных преобразований сопровождается снижением пластичности деформируемого материала. Результатом интенсивного воздействия контртела на образец из стали 110Г13Л является формирование и развитие трещин, ориентированных параллельно направлению скольжения. Критической стадией развития дефектов является отслоение участков сильнодеформированного материала. Изображение поверхности изнашивания, на которой присутствуют участки с таким материалом и поверхностные участки, соответствующие отслоившемуся материалу, приведено на рис. 1 б.

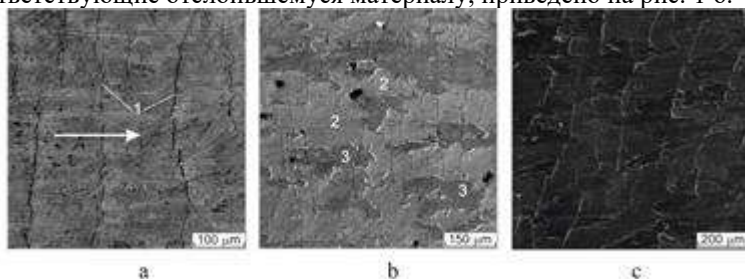


Рис. 2 – Изнашивание поверхности образца из стали Гадфильда с образованием системы трещин и отслоением фрагментов деградированного поверхностного слоя.
Стрелкой указано направление скольжения

В результате описанного механизма взаимодействия стального ролика с изнашиваемой заготовкой поверхность трения можно представить, как поле типа «шахматная доска». Часть клеток этой доски сформированы при отслоении сильно деформированного материала и в течение некоторого времени участия в изнашивании не принимает поскольку материал находится в глубине и в физический контакт с контртелом не вступает. Оставшаяся часть поверхности выступает по высоте относительно тех зон, в пределах которых произошло отслоение поверхностного слоя. Следовательно, эти участки находятся в физическом контакте с контртелом.

Если процесс изнашивания продолжается, то отслаиваться будут выступающие над поверхностью участки и через некоторое время в контакт с цилиндрическим контртелом вступят те зоны, в которых отслоение произошло раньше. Следовательно, механизм изнашивания можно представить, как циклический, сочетающий накопление дефектов в поверхностном слое, частичное отслоение материала, пребывание в менее нагруженном состоянии и последующее накопление дефектов вплоть до отделения от поверхности образца.

Таким образом, в процессе изнашивания чередуются циклы взаимодействия материала с контртелом, сопровождающиеся охрупчиванием в результате повышения плотности дислокаций в сочетании с механохимическими преобразованиями, приводящими к отделению тонкого слоя, и циклы, в течение которых материал под отделившимся слоистым фрагментом с контртелом не взаимодействует.

Разработанная методика доказала свою эффективность в изучении механизма разрушения стали Гадфильда в условиях трения качения с проскальзыванием. Было установлено, что разрушение поверхностного слоя является следствием механохимического взаимодействия с воздушной атмосферой и материалом контртела. Циклические нагрузки приводят к окислению поверхности, накоплению в ней дефектов, формированию сети трещин и, в конечном итоге, отслаиванию крупных фрагментов деформированного материала.

Литература

1. Overview no. 55. Wear-Mechanism maps / Lim S.C. Ashby M.F. // *Acta Metallurgica*. - 1987. - Vol. 35. - P. 1-24. - doi: 10.1016/0001-6160(87).90209-4.
2. Stachowiak G.W. Wear – Materials, Mechanisms and Practice. John Wiley & Sons, Ltd. – 2005. - 458 p.
3. Fundamental and applied aspects of materials science in tribology / Kolubaev A.V., Kolubaev E.A., Dmitriev A.I., Tarasov S.Yu., Chumaevskii

A.V. // Physical Mesomechanics. - 2025. - Vol. 28, iss. 2. - P. 145-169. - doi: 10.1134/S1029959924601908.

4. Давыдов Н. Г., Ситнов В. В. Свойства, производство и применение высокомарганцевой стали. - М.: Машиностроение. – 1996. - 232 с.

5. Филиппов М. А., Макаров А. В., Шешуков О. Ю. Износ и выбор износостойких материалов. - Инфра-Инженерия. – 2025. - 316 с.

6. Subsurface layer formation during sliding friction / Panin V., Kolubaev A., Tarasov S., Popov V. // Wear. – 2002. – Vol. 249, iss. 10. – P. 860-867. – doi: 10.1016/S0043-1648(01)00819-5.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ОБЪЁМНОМ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ СТЕКЛЕ Zr₃₅Hf_{17,5}Ti_{5,5}Al_{12,5}Co_{7,5}Ni₁₂Cu₁₀ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ

Е. В. Чепелева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, chepevaliofficial@gmail.com**

Научный руководитель: Батаев И. А., д.т.н., профессор

Объёмные металлические стёкла (ОМС) — это аморфные модификации металлов и их сплавов, то есть твёрдые вещества с некристаллической структурой. В данной работе исследовались структурные преобразования, происходящие в процессе термической обработки. Изучение структуры материала проводилось при помощи метода молекулярной динамики. В качестве исследуемого материала был выбран сплав Zr₃₅Hf_{17,5}Ti_{5,5}Al_{12,5}Co_{7,5}Ni₁₂Cu₁₀.

Bulk metallic glasses (OMS) are amorphous modifications of metals and their alloys, that is, solids with a non-crystalline structure. In this paper, the structural transformations occurring during heat treatment were investigated. The study of the structure of the material was carried out using the method of molecular dynamics. The alloy Zr₃₅Hf_{17,5}Ti_{5,5}Al_{12,5}Co_{7,5}Ni₁₂Cu₁₀ was chosen as the investigated material.

Исследования в области аморфных металлов, а именно объемных металлических стёкол, представляют собой важную и перспективную область науки, которая может позволить разработку перспективных материалов и новых технологий. Объёмные металлические стёкла находят довольно широкое применение в самых различных областях человеческой деятельности. Они востребованы в электротехнике, машиностроении и строительстве, медицине и производстве спортивного инвентаря, а также могут применяться в других высокотехнологических сферах, где требуются материалы с соответствующими свойствами.

В данном исследовании преследуется цель изучить влияние режимов термической обработки на структуру объёмных металлических стёкол (ОМС).

Исследования в данной области сопряжены с рядом трудностей при проведении практических экспериментов. Основные проблемы связаны с необходимостью достижения высокой скорости охлаждения и сложностью контроля локальных структурных изменений в некристаллических материалах. При получении объёмных металлических стекол необходимы скорости охлаждения 10^5 - 10^6 К/с. Материалы с разупорядоченной структурой не обладают дальним порядком. В связи с этим стандартные методы структурного анализа не позволяют отслеживать процессы и параметры структурных изменений. Численное моделирование методом молекулярной динамики становится эффективным инструментом для анализа структурных изменений ОМС.

Метод молекулярной динамики – одно из направлений компьютерного моделирования свойств вещества. Данный метод основан на численном решении уравнения движения Ньютона для системы, состоящей из большого числа взаимодействующих частиц – атомов. Использование данного метода позволяет не только моделировать движение отдельных атомов, но и моделировать взаимодействие всей системы, что в дальнейшем позволяет рассчитывать термодинамические и механические свойства системы, зависящие от этого движения. В данной работе метод был реализован при помощи программного пакета LAMMPS (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator). Визуализация атомных конфигураций, анализ структурных особенностей и контроль процесса моделирования производились с помощью специализированного программного обеспечения OVITO (Open Visualization Tool) [1]. Взаимодействие атомов описывается в рамках заданного потенциала межатомного взаимодействия, который определяет функциональную зависимость сил и энергии от расстояний между атомами и является критически важным элементом моделирования, поскольку напрямую влияет на достоверность получаемых результатов.

Исследования проводились для объёмных металлических стёкол состава $\text{Zr}_{35}\text{Hf}_{17,5}\text{Ti}_{5,5}\text{Al}_{12,5}\text{Co}_{7,5}\text{Ni}_{12}\text{Cu}_{10}$. Метод молекулярной динамики позволяет получать модели объёмных металлических стёкол путем формирования аморфной структуры, которая реализуется в два этапа: нагрев исходного сплава кристаллической структуры до температуры выше температуры плавления и высокоскоростное охлаждение с фиксированным значением скорости, достаточными для формирования некристаллической структуры.

После создания модели ОМС в рамках численного моделирования был выполнен процесс термической обработки – отжиг. Нагрев модели осуществлялся до трёх температур: 370°C, 460°C. При каждой из этих температур производилась выдержка в течение различных промежутков времени. После чего моделировался процесс медленного охлаждения до комнатной температуры с постоянной скоростью [2].

Метод молекулярной динамики позволяет проводить исследования в данной области и анализировать полученные результаты [3].

Литература:

1. Батаев И. А., Эмурлаев К. И., Головин Е. Д., Огнева Т. С., Довженко Г. Д. Молекулярная динамика для материаловедов: учебное пособие – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2024. – 106 с.
2. Лузгин Д. В., Польшкин В. И. Объёмные металлические стёкла: получение, структурные изменения при нагреве. [Электронный ресурс] // Известия Вузов. Цветная Металлургия.: электрон. науч.-техн. журн. – № 6. – 2015. – URL: <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2015-6-43-52> (дата обращения: 08.11.2024). – doi: 10.17073/0021-3438-2015-6-43-52.
3. Takeshi Wadaa, Jing Jianga, Kunio Yubutaa, Hidemi Katoa, Akira Takeuchi Septenary Zr–Hf–Ti–Al–Co–Ni–Cu high-entropy bulk metallic glasses with centimeter-scale glass-forming ability [Электронный ресурс] // Materialia.: электрон. науч.-техн. журн. – № 7. – 2019. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589152919301681> (дата обращения: 22.11.2025). – doi: 10.1016/j.mtla.2019.100372.

РЕИНЖИНИРИНГ АБРАЗИВНЫХ ПАСТ ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е. С. Беляева, Э. Р. Ногачева

Самарский государственный технический университет,

г. Самара, htpkm@samgtu.ru

Научный руководитель: Ногачева Э. Р., к.т.н., доцент

Абразивные пасты широко используются в различных отраслях промышленности (ювелирном производстве, микроэлектронике, машиностроении и др.) для полирования и шлифования поверхностей металлических деталей оборудования. Данная работа посвящена разработке аналога зарубежных абразивных паст на основе алмазов детонационного синтеза из отечественных компонентов с необходимыми полировальными и шлифовальными свойствами. Разработан абразивная паста, которая по своим свойствам не уступает зарубежным аналогам.

Abrasive pastes are widely used in various industries (jewelry, microelectronics, mechanical engineering, etc.) for polishing and grinding the surfaces of metal equipment components. This work is devoted to the development of an analogue of foreign abrasive pastes based on detonation synthesis diamonds using domestic components with the necessary polishing and grinding properties. The abrasive paste developed has properties comparable to those of foreign analogues.

В современных условиях, когда введены ограничительные меры, приоритетным направлением становится замена импортных материалов на отечественные аналоги в различных отраслях машиностроения [1]. Одной из таких областей является изготовление абразивных материалов, в частности абразивных паст, которые широко используются для полирования и шлифования поверхностей деталей оборудования. В настоящий момент рынок наполнен в основном абразивными пастами зарубежного производства (примерно 70 %), что создает зависимость от импорта и колебаний валютных курсов [2]. В связи с этим, а также учитывая стратегическую важность обеспечения отечественных предприятий качественными материалами создание отечественных абразивных паст открывает новые возможности для развития отечественного производства и снижения зависимости от импортных материалов [3,4].

В данной работе проводился реинжиниринг абразивных паст зарубежного производства, с целью создания улучшенного продукта из отечественных компонентов с заданными полировальными свойствами.

В качестве аналогов абразивных паст было рассмотрено две пасты с поликристаллическими алмазами: паста Kemet (Великобритания) и паста MetCata (Германия). Был проведен анализ компонентного состава паст различными методами (ИК-спектроскопия, электронная микроскопия), по результатам которого было определено, что в состав паст предположительно входят карбоновые кислоты (например, стеариновая кислота).

По результатам анализа было разработано два состава абразивных паст (на основе стеариновой кислоты и алмазов детонационного синтеза). По внешнему виду пасты представляют собой вязкую мазеобразную пасту темно-серого цвета с равномерно распределёнными частицами алмазов во всём объёме связующего [1].

Полученные пасты, а также зарубежные аналоги были подвергнуты испытаниям по определению их абразивной способности – основного эксплуатационного показателя.

Исследование абразивной способности проводилось согласно ГОСТ 25593-83 на испытательном узле триботехнического комплекса «Универсал 1Б» (рис. 1) с использованием заготовки из сапфирового

стекла и заготовки из твердого сплава ВК-60 М. Скорость вращения твердосплавного контрообразца по заготовке составляла 170 об/мин, время испытания 30 минут [1].



Рис. 1 – Общий вид универсального триботехнического комплекса «Универсал 1Б»

Абразивная способность паст (А) определялась по формуле

$$A = M_1 - M_2, \quad (1)$$

M_1 – масса заготовки до испытания, г;

M_2 – масса заготовки после испытания, г.

Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний алмазных паст

Название образца	Абразивная способность (заготовка из сапфирового стекла)	Абразивная способность (заготовка из твердого сплава ВК-60 М)
Паста Kemet 1 mic (14000))	0,0029	0,0024
Паста Sparkling U/P (1 μm)	0,0015	0,0019
Паста АСМ 1 Н О М (1 состав)	0,0063	0,0115
Паста АСМ 1 Н О М (2 состав)	0,0010	0,0005

Исходя из представленных результатов, алмазная паста (1 состав), созданная в условиях ФГБОУ ВО «СамГТУ», по абразивной способности не уступает зарубежным аналогам. Применение в составе паст алмазов детонационного синтеза позволяет обеспечить требуемое качество обработки, снизить производственные затраты и увеличить срок службы режущих инструментов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (тема № 125040404855-0).

Литература:

1. Беляева Е. С., Ногачева Э. Р. Разработка состава абразивной пасты для обработки металлических деталей // Матер. Всероссийской научно-технической конференции Наука. Промышленность. Оборона - Новосибирск НГТУ. - Новосибирск: НГТУ, 2025. - С. 18-22.
2. Patent 111647358 Chinese. Manufacturing process of polishing paste formechanical polishing / МинЮфу. – заявлено 09.07.20; опубл. 11.09.20.
3. Патент 2079532 RU. Полировальная паста / М.В. Мартоник, В.Е. Редькин, А.М. Ставер. – заявлено 29.11.93; опубл. 20.05.97.
4. А. с. 829649 СССР. Алмазно-абразивная паста / Л.В. Коберниченко, Ю.И. Никитин, О.В. Гинзбург, Э.К. Цадыковская, Г.С. Бобкова, А.А. Ковалев, В.К. Шошина. – заявлено 17.08.79; опубл. 15.05.81.
5. А. с. 800175 СССР. Алмазная паста / С.Т. Бура, Б.И. Гойхман, Е.М. Грузбарг, Ю.И. Никитин. – заявлено 17.10.77; опубл. 30.01.81.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ПРИМЕСЕЙ РЕАКЦИОННОЙ ОТГОНКОЙ СЬСЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЧИСТОТЫ ВЫСОКОЧИСТОЙ СУРЬМЫ (6N)

А. К. Богомолова^{1,2}, Т. Я. Гусельникова²

¹Новосибирский государственный университет,

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
г. Новосибирск, a.bogomolova2@g.nsu.ru

Научный руководитель: Гусельникова Т. Я., к.х.н., с.н.с.

Предложена методика концентрирования примесей отгонкой сурьмы в виде хлорида для анализа высокочистой сурьмы (6N7) методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС ИСП). Была выбрана оптимальная температура отгонки, достигнутый коэффициент концентрирования – 200 раз. Были оценены пределы обнаружения 41 элемента. Правильность разработанной методики подтверждена методом «введено»

найден» и сравнением с результатами АЭС ИСП анализа без предварительного концентрирования.

A method for impurities concentration by distillation of antimony as chloride is proposed for the analysis of high-purity antimony (6N7) using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). An optimal distillation temperature was selected, achieving a 200-fold concentration factor. The detection limits for 41 elements were estimated. The validity of the developed method was confirmed by the "added-found" method and comparison with ICP-OES analysis results without preconcentration.

Сурьма относится к числу элементов, активно применяемых в высокотехнологических областях. Она является основой для получения материалов с полупроводниковыми свойствами. Например, такие антимиониды, как InSb, GaSb, AlSb применяют в электронике и ИК-детекторах [1]. Также она может быть использована для изготовления различных сплавов, эмалей, керамических красителей и других целей, для этого достаточно применения сурьмы марки Су00. Сурьма более высокой чистоты (например, марок Су0000, Су0000П и Су00000) используется при производстве диодов и транзисторов для улучшения электропроводности и температурной стабильности материалов [2]. В связи с этим, получение сурьмы чистотой не менее чем 4N и контроль содержания примесей в ней имеют особую значимость.

Для снижения пределов обнаружения (ПО) элементов в высокочистой сурьме целесообразно использовать концентрирование примесей реакционной отгонкой сурьмы в виде её легколетучего хлорида в проточном реакторе. Схема установки для отгонки представлена на рис. 1., SbCl_3 образуется в результате взаимодействия сурьмы с газообразным хлором, полученным при помощи электролиза соляной кислоты. Концентраты анализировали методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС ИСП).

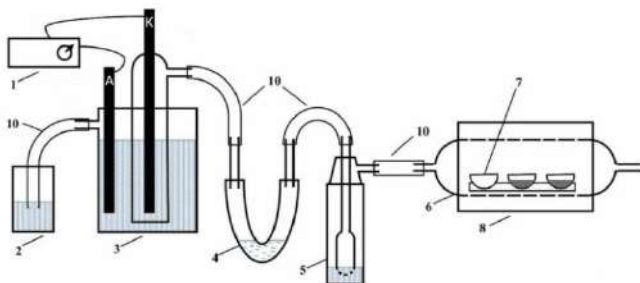


Рис. 1 – Схема установки для отгонки сурьмы при взаимодействии с газообразным хлором.

1 – блок питания постоянного тока, 2 – ёмкость с дистиллированной водой для поглощения H_2 , 3 – электролизёр, 4 – U-образная трубка с H_2SO_4 , 5 – склянка Дрекслея с H_2SO_4 , 6 – кварцевый реактор, 7 – кварцевые чашки с контрольным опытом и образцами сурьмы, 8 – печь трубчатая, 10 – соединительные силиконовые трубки

Оптимизировали условия хлорирования сурьмы для отгонки $SbCl_3$ так, чтобы обеспечить наиболее полное отделение матрицы, сократить продолжительность процесса, а в концентрате сохранялось наибольшее число примесных элементов. Для этого провели отгонку сурьмы при температурах 200, 225 и 250 °С. Критерием выбора температуры была полнота концентрирования примесей не менее 80 %. В результате экспериментов было установлено, что при 225 °С сурьма отгоняется более чем на 99,99 % и продолжительность отгонки не превышает 1 часа. Абсолютный коэффициент концентрирования составляет 200 раз.

При выбранной температуре отгонки сурьмы изучили поведение 61 примесного элемента. Установлено, что 20 элементов теряются полностью или частично (As, B, Bi, Ga, Hf, Hg, In, Ir, Mo, Nb, P, Re, Se, Si, Sn, Ta, Te, Ti, V и Zn), 41 элемент количественно сохраняется в концентрате (Ag, Au, Al, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Na, Nd, Ni, Pb, Pd, Pr, Pt, Rh, Ru, Sc, Sm, Sr, Tb, Tm, W, Y, Yb и Zr).

Рассчитанные по 3s-критерию пределы обнаружения 41 элемента составляли от $n \cdot 10^{-8}$ до $n \cdot 10^{-5}$ мас. %. Правильность разработанной АЭС ИСП методики анализа высокочистой сурьмы с предварительным концентрированием примесей подтвердили методом «введено-найдено», и сравнением с результатами АЭС ИСП анализа без предварительной отгонки основы.

Предложенная методика по сравнению с [3] позволила сократить продолжительность отгонки в 2 раза, упростить установку, исключив использование аргона в качестве газа-носителя, расширить список определяемых элементов с 13 элементов до 41. ПО снижены в 5-10 раз. Таким образом, методика АЭС ИСП анализа с предварительным концентрированием примесей позволяет охарактеризовать сурьму чистотой до 6N7 по 41 элементу.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 125021302133-1.

Литература:

1. Kroemer H. The 6:1 Å family (InAs, GaSb, AlSb) and its heterostructures: a selective review // *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*. – 2004. – Vol. 20, N 3–4. – P. 196–203.
2. ГОСТ 1089–82. Сурьма. Технические условия. Методы анализа. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.
3. Шелпакова И. Р., Чанышева Т. А. Химико-атомно-эмиссионный спектральный анализ высокочистой сурьмы // *Аналитика и контроль*. – 1999. – № 1. – С. 15–20.

ФОРМИРОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ НА АУСТЕНИТНОЙ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ, ОБОГАЩЁННЫХ Cr И В, МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

А. А. Дударева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dudareva-alina@mail.ru**

Научный руководитель: Эмурлаев К. И., к.т.н.

В данной работе на поверхности хромоникелевой аустенитной стали 12X18H9T методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей Cr и В были получены бездефектные модифицированные слои, содержащие бориды и карбобориды. Исследована структура и свойства в исходном (наплавленном), закаленном и горячекатаном состояниях. Максимальная микротвердость покрытий зафиксирована после закалки, а наивысшая износостойкость после горячей деформации.

In this work, defect-free modified layers containing borides and carboborides were fabricated on the surface of AISI 321 chromium-nickel austenitic steel by non-vacuum electron beam cladding using powder mixtures of Cr and B. The microstructure and properties were investigated in the as-cladded, quenched, and hot-rolled states. The

maximum microhardness was recorded for the quenched coating, while the highest wear resistance was demonstrated by the hot-rolled coating.

Аустенитные хромоникелевые стали широко применяются для изготовления ответственных деталей выхлопных систем, труб, листовых и сортовых деталей, требующих высокую коррозионную стойкость, жаростойкость и жаропрочность. Однако их эксплуатация в условиях абразивного износа и механических нагрузок ограничена низкой исходной твердостью и склонностью к адгезионному износу хромоникелевых сталей [1, 2].

Перспективным направлением является формирование на поверхности изделий из стали наплавленных слоев, легированных бором. Обогащение бором способствует дисперсионному упрочнению стали за счет формирования боридов типа Me_2B и карбоборидов типа $\text{Me}_{23}(\text{B},\text{C})_6$. Указанные фазы обладают высокой твердостью и термической стабильностью [3].

В качестве метода модифицирования поверхностного слоя применялась наплавка порошковых смесей пучком релятивистских электронов, выведенным в воздушную атмосферу. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка осуществлялась на ускорителе электронов промышленного типа ЭЛВ-6 в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН. Материалом основы выступала сталь 12Х18Н9Т. Наплавляемая порошковая смесь состояла смеси порошков аморфного бора и хрома в разных соотношениях. Составы приведены в таблице 1. Для предотвращения окисления ванны расплава в порошковую смесь вводился флюс MgF_2 в соотношении 1:1 к массе порошковой смеси.

Таблица 1 – Составы наплавляемых порошковых смесей

Покрытие	Состав наплавляемой порошковой смеси, г		
	Cr	B	MgF_2
C1	1,5	1	2,5
C2	1,5	2	3,5

Структура образцов после вневакуумной электронно-лучевой наплавки представлена на рисунке 1 и выражена столбчатой дендритной морфологией.

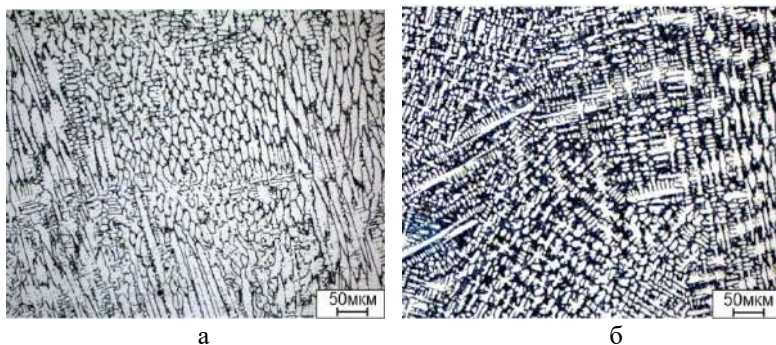


Рис. 1 – Структура модифицированных слоев после наплавки:
а – C1; б – C2

С целью анализа возможности повышения механических характеристик покрытий методами термического и деформационного воздействия были проведены закалка от 1100 °С с последующим охлаждением в воду и горячая прокатка при температуре 950 °С. Термическая и термомеханическая обработка наплавленных слоев не привела к полному устранению дендритной морфологии, однако привели к разложению эвтектических построений и выделением дисперсных карбидов в аустенитной матрице.

Измерения микротвердости проводились в направлении от поверхности модифицированного слоя вглубь основного материала. Твердость основного материала составляла 200 HV. Максимальная твердость была зафиксирована после закалки и составляет 600 ± 105 HV. Упрочнение обеспечивается преимущественно за счет измельчения структурных составляющих, твердорастворным упрочнением и дисперсионным твердением частиц карбида хрома. Испытания на износостойкость по схеме «шар-плоскость» показали, что покрытие C2 после горячей пластической деформации обладает наибольшей стойкостью в условиях фрикционного нагружения. Сопротивление износу обеспечивается равномерно распределёнными упрочняющими частицами в аустенитной матрице.

Таким образом, установлено, что максимальное упрочнение достигнуто после режима закалки для C2, что обусловлено дисперсионным твердением и измельчением структуры. Однако наилучшая износостойкость в условиях трения «шар-плоскость» зафиксирована для покрытия с повышенным содержанием бора в C2 после горячей прокатки. Это демонстрирует, что термомеханическая обработка является ключевым фактором для оптимизации комплекса

механических свойств и трибологических характеристик модифицированных слоев.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-79-00066, <https://rscf.ru/project/23-79-00066/>.

Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» (НГТУ).

Литература:

1. Lo K. H., Shek C. H., Lai J. K. L. Recent developments in stainless steels // Materials Science and Engineering: R: Reports. - 2009. - Vol. 65, iss. 4-6. - P. 39-104.
2. Ustinovshikov Y., Shirobokova M., Pushkarev B. A structural study of the Fe-Cr system alloys // Acta Materialia. - 1996. - Vol. 44, iss. 12. - P. 5021-5032.
3. Zhou Y. et al. Composition-dependent brittleness and ductility of the multicomponent phase (Fe,Cr)₂₃(C,B)₆ in Fe-Cr-B-C alloys: First-principles calculations and modeling // Vacuum. - 2024. - Vol. 222. - P. 113081.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДА ГАФНИЯ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Е.Д. Кузьменко

**Томский политехнический университет,
г. Томск, kuzmenko70egor@yandex.ru**

Научный руководитель: Буякова С.П., д.т.н., профессор

В проведенной работе были получены образцы на основе карбонитрида гафния методом искрового плазменного спекания при температуре 2000 °С. Было установлено, что при образовании карбонитрида гафния в рамках проведения искрового плазменного спекания, наблюдается повышение механических свойств образцов. Установлено, что с увеличением стехиометрического соотношения C:N механические свойства керамики возрастают.

In this study, hafnium carbonitride samples were produced using spark plasma sintering at 2000°C. It was found that the formation of hafnium carbonitride during spark plasma sintering resulted in an increase in the mechanical properties of the samples. It was found that increasing the stoichiometric C:N ratio also enhanced the mechanical properties of the ceramics.

Керамика на основе карбонитрида гафния имеет набор перспективных свойств, таких как высокая твердость и прочность, стойкость к воздействию агрессивных химических сред [1]. Для данной керамики установлена наибольшая температура плавления среди всех существующих материалов на сегодняшний день, она превышает 4200 °C [2]. Для получения данных керамик актуально применение современных технологических режимов спекания, основанных на одновременном воздействии высокой температуры и давления прессования. Среди методов позволяющих реализовать данную систему выделяется метод искрового плазменного спекания, реализующий нагрев порошковой системы за счет воздействия токов высокой частоты [3]. Помимо этого, искровое плазменное спекание позволяет интенсифицировать процесс спекания за счет протекания электрического тока между порошковыми частицами [4].

В ходе работы были подготовлены керамические образцы на основе карбонитрида гафния при спекании методом искрового плазменного спекания. Спекание реализовывалось в вакууме при температуре 2000 °C. Были получены образцы с различной стехиометрией в широком диапазоне при соотношении $C/(C+N)$ от 0 до 1. Полученные образцы были подготовлены путем шлифования и полирования с использованием алмазных паст. Механические свойства образцов исследовались на приборе NanoIndenter G200. Данный прибор позволяет исследовать механические свойства образцов с малой нагрузкой на индетор, а также реализовать исследование прочности материалов при проведении скратч-тестирования.

После проведения спекания было установлено, что у консолидированных материалов наблюдается достижение различной стехиометрии. Установлено, что с увеличением содержания углерода в материалах наблюдается увеличение показателей механических свойств. Твердость материалов возрастает до показателей свыше 22 ГПа. Также с увеличением стехиометрического соотношения $C/(C+N)$ наблюдается возрастание прочности материалов, до значений свыше 680 МПа. Однако в силу того, что дополнительный электрон в атомах азота занимает антисвязывающую орбиталь и оказывает разупрочняющий эффект, снижающий жесткость материала, наблюдается повышение трещиностойкости материалов с увеличением содержания азота. Так в ходе исследования трещиностойкость возрастала до показателей свыше $7 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. В свою очередь для материалов с увеличенным содержанием углерода наблюдалась повышенная жесткость материалов,

выражающаяся в увеличенных показателях модуля Юнга, до параметров свыше 480 МПа.

В проведенной работе были получены материалы на основе карбонитрида гафния при проведении искрового плазменного спекания при температуре 2000 °С. Наблюдалось увеличение механических свойств материалов при образовании карбонитрида гафния.

Литература:

1. Ushakov S. V. et al. Carbides and nitrides of zirconium and hafnium // Materials. – 2019. – V. 12. – No. 17. – P. 2728.
2. Zhang X. et al. Characterization of thermophysical and mechanical properties of hafnium carbonitride fabricated by hot pressing sintering // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – V. 23. – P. 4432-4443.
3. Filipovic S. et al. Synergistic properties of dual phase (Hf,Ti,Zr)B₂–(Hf,Ti,Zr)C ceramics // Journal of the European Ceramic Society. – 2025. – V. 45. – No. 12. – P. 117448.
4. Tokita M. Progress of spark plasma sintering (SPS) method, systems, ceramics applications and industrialization // Ceramics. – 2021. – V. 4. – No. 2. – P. 160-198.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ
ПОЛИКАРБОНАТА В СВЧ ДИАПАЗОНЕ**

М. Ю. Лапкина, И. Н. Ягрушкина

**Самарский государственный технический университет,
г. Самара, lapkinamasha2005@gmail.com**

Научный руководитель: И. Н. Ягрушкина, к.х.н. доцент

Применение полимерных композитов позволяет создать материалы способные работать в СВЧ диапазоне с необходимыми диэлектрическими, теплофизическими свойствами и относительно невысокой стоимости. Данная работа посвящена разработке термостойкой композиции на основе поликарбоната и плавленого кварца. Разработан состав композиции с минимальным значением диэлектрических потерь: $16,95 \times 10^{-4}$ и высокой термостабильностью при 150 °С.

The use of polymer-based composites enables the development of materials suitable for operation in the microwave frequency range, providing the required dielectric and thermophysical properties at relatively low cost. This study is dedicated to the development of a heat-resistant microwave composite based on a polycarbonate matrix

with fused quartz filler. A composite formulation was developed exhibiting a minimum dielectric loss ($\tan \delta$) of $16,95 \times 10^{-4}$ and high thermal stability at 150 °C.

Полимерные диэлектрические композиты преимущественно применяют в печатных платах, антеннах и корпусах для обеспечения необходимых радиопрозрачных или радиопоглощающих свойств. Композиционные диэлектрики состоят из полимерной матрицы и наполнителя. В качестве матрицы применяют органические полимерные диэлектрики такие как: фторопласт, полиэтилен, полипропилен, полистирол, поликарбонаты, полифениленоксид, а также сополимеры на их основе. Наполнителями являются керамические диэлектрики. Достоинство данных материалов — это регулируемое значение диэлектрической проницаемости (ϵ) и низкие диэлектрические потери ($\text{tg}\delta$).

«Так, например, на ОАО «Завод Магнетон» композиционные диэлектрики марки СТ производят на основе полистирола и двуокиси титана. Достоинства материалов этого ряда – возможность изготовления деталей сложной формы с высокой точностью в крупносерийном производстве методами литья под давлением, допускают механическую обработку на металлообрабатывающем оборудовании, выдерживают воздействие кислот, щелочей, обладают высокой адгезией к металлам. Однако главный их недостаток - невысокая термостойкость плюс от 90 до 100 °С» [1].

Цель нашей работы - создание композитного диэлектрического материала с повышенными термостабильными свойствами, способного работать в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне.

Теплофизические и диэлектрические свойства полистирола, выполняющего роль связующего, в составе материалов марки СТ представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Теплофизические и диэлектрические свойства полистирола и поликарбоната

№ п/п	Наименование показателя	Полистирол эмульсионный	Поликарбонат
1	Температура плавления, °С	160,0-190,0	235,0-275,0
2	Теплостойкость по Вика, °С	97,0-110	150,0-160,0
3	Удельная теплоемкость, ккал/(г · град)	0,32	0,28
4	Верхний предел рабочих температур, °С	70,0	137,0
Диэлектрические свойства			
5	Диэлектрическая проницаемость, ϵ при частоте 10^{10} Гц	2,6	2,89
6	Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta \cdot 10^{-4}$ при частоте 10^{10} Гц	3,0	120,0

Из таблицы 1 видно, что верхний предел рабочей температуры для чистого полистирола составляет 70°C. Поэтому, мы предлагаем данный полимер заменить на поликарбонат с рабочей температурой 137°C, который так же применяется в СВЧ-устройствах, а введение неорганического диэлектрика позволит увеличить диапазон эксплуатации материала.

Для повышения термостойкости органических полимеров часто применяют оксиды алюминия, титана, кварц, плавленый кварц, асбестовое волокно. Диэлектрические характеристики данных материалов приведены в таблице 2 [3]. Поскольку, поликарбонат уступает полистиролу по диэлектрическим характеристикам (таблица 2), в особенности по величине тангенса угла диэлектрических потерь, поэтому, при выборе наполнителя главный акцент необходимо сделать на данный показатель.

Таблица 2 - Диэлектрические свойства неорганических наполнителей

Наименование показателя	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Кварц плавленый
Диэлектрическая проницаемость ϵ при 20°C	90,0	4,5	9,5	3,8
Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta \cdot 10^{-4}$ при 10 ⁶ Гц, 20°C	10,0	7,0	-	2,0

Из таблицы 2 видно, что наименьшими диэлектрическими потерями обладает плавленый кварц, поэтому, мы выбираем его в качестве наполнителя в состав композиционного диэлектрического материала. При создании композиции необходимо учитывать гранулометрический состав плавленого кварца, который должен, наилучшем образом, сочетаться с поликарбонатным порошком. Для создания диэлектрической композиции применяли плавленый кварц с размером частиц: 0,063мм (Россия).

Композицию готовили смешением компонентов в шаровой мельнице с последующим прессованием на лабораторном прессе при температуре 300 °C и давлении $P = 20 \text{ кгс/см}^2$, в течение 15 или 30 минут.

Диэлектрические свойства [4] (диэлектрическую проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь) образцов в форме таблеток размером $D = 1,6 \text{ мм}$; $h = 3 \text{ мм}$ производили на измерительном стенде.

Основные технические характеристики измерительного стенда:

- частота измерения $8,1 \div 10,0 \text{ ГГц}$;
- диапазон измерения диэлектрической проницаемости $\epsilon = 2 \div 20$;
- диапазон измерения тангенса угла диэлектрических потерь

$\text{tg}\delta = 1 \times 10^{-4} \div 5 \times 10^{-3}$;

- форма измеряемых образцов диэлектрических материалов – диски диаметром $16 \pm 0,05$ мм, толщиной $3 \pm 0,02$ мм, при предполагаемой $\epsilon = 2 \div 11$ и толщиной $1 \pm 0,02$ мм при предлагаемой $\epsilon = 11 \div 20$. Диэлектрические свойства исследовали в зависимости от количества наполнителя таблица 3.

Таблица 3 - Диэлектрические свойства поликарбонатных композиций

Наименование показателя Соотношение компонентов	Поликарбонат / кварц							Поликарбонат / кварц / СВМП (Ф-4)	
	20/80 15 мин.	20/80 30 мин.	10/90 0 30 мин.	10/90 0 15 мин.	10/90 0 30 мин.	5/95 15 мин.	5/95 30 мин.	СВМПЭ 10/80/10	Ф4 10/80/10
Диэлектрическая проницаемость, ϵ	3,35	3,30	3,35	2,99	3,22	3,02	2,87	3,13	3,00
Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg} \delta \cdot 10^{-4}$	17,9 9	17,6 1	18,2 6	18,9 2	18,3 2	18,0 7	16,9 5	18,44	16,71

Результаты исследования показали, что диэлектрическая проницаемость композиционного материала, практически не меняется, при частоте 10^{10} Гц и находится в интервале $2,87 \div 3,35$ при содержании поликарбоната от 20 до 5 %. В тоже время, минимальное значение тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg} \delta$) удалось получить только при уменьшении поликарбоната до 5 % и составляет $16,95 \times 10^{-4}$.

Из литературных источников [5,6] известно, что сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМП) и фторопласт «марки 4» (Ф-4) характеризуются низкими значениями диэлектрических потерь. Данные показатели определены нами в аналогичных условиях (таблица 4). Однако, как следует из таблицы 3, попытки уменьшить диэлектрические потери, введением в состав СВМП или Ф-4, не привели к ожидаемому результату и составили $18,44 \times 10^{-4}$ и $16,71 \times 10^{-4}$ соответственно.

Таблица 4 - Диэлектрические свойства СВМП и Ф-4

Марка	Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 ГГц, не менее	Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 ГГц, $\text{tg} \delta$	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом*см, не менее	Электрическая прочность, кВ/мм
СВМП	2,2	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{16}$	40,0
Ф-4	2,0	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	60,0

Исследование термостойкости композиции с 5 % содержанием поликарбоната показало, что потеря массы при 150 °С составляет 0,07 %.

В данной работе получен термостойкий диэлектрический композиционный СВЧ-материал на основе поликарбоната и плавленного кварца. Диэлектрические показатели композиции находятся в интервале $\varepsilon = 2,8 \pm 3,35$; $\operatorname{tg}\delta = 16,95 \times 10^{-4} \pm 18,32 \times 10^{-4}$ при частоте 10^{10} Гц. Минимальные значения тангенса угла диэлектрических потерь составляют $\operatorname{tg}\delta = 16,95 \times 10^{-4}$ при частоте 10^{10} Гц с содержанием поликарбоната 5 %. Термостойкость СВЧ композиции: потеря массы при 150 °С составляет 0,07 %.

Литература:

1. Фирсенков А. И., Канивец А. Ю., Касаткина Т. С., Ершова О. М., Иванова Л. П., Ершова П. В. Микроволновые диэлектрические материалы производства ОАО «Завод Магнетон», Электроника и микроэлектроника СВЧ. Всероссийская конференция. Сборник статей IV Всероссийской конференции. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2015. – Т. 2. – С. 55-59.

2. Справочник по пластическим массам: том 2 / под ред. М. И. Гарбара, М. С. Акутина, В. М. Катаева – М: Химия, 1969. – 520 с.

3. Наполнители для полимерных композиционных материалов – справочное пособие: пер. с англ./ под редакцией П. Г. Бабаевского – М.: Химия, 1981. – 736 с.

4. Брандт А. А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах, ГИ ФМЛ Москва 1963. – 403 с.

5. Маркевич И. А., Селютин Г. Е., Дрокин Н. А., Селютин А. Г. Электрофизические и механические свойства композита с повышенной диэлектрической проницаемостью на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного углеродными нанотрубками / Журнал технической физики, 2020, том 90, вып. 7. – С. 1151 – 1158.

6. ГОСТ 10007-80 Фторопласт – 4. Технические условия Polytetrafluoroethylene, Specifications – Введ. 1981-07-01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 15 с.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{S}$ НА ПРОЦЕСС ФОТОТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРИРОВАНИЯ CO_2

М. Е. Морозова^{1,2}, Д. А. Польских¹, М. И. Соловьева¹

¹Институт катализа СО РАН,

²Новосибирский государственный университет,

г. Новосибирск, m.morozova4@ng.su.ru

Научные руководители: Селищев Д.С., к.х.н., в.н.с.,

Люлюкин М. Н., к.х.н., с.н.с.

Метод синтеза оксисульфида висмута оказывает сильное влияние на электрохимические свойства и способность восстанавливать углекислый газ до монооксида углерода и метана при воздействии света и температуры. В частности, изменение длительности обработки в разных условиях влияет на морфологию частиц фотокатализатора.

The method of the $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{S}$ synthesis occurs significant changes in its photoelectrochemical properties and activity of CO_2 reduction into carbon monoxide and methane under the influence of light and temperature. In particular, variations in the processing duration under different conditions affect the morphology of the photocatalyst particles.

Ухудшение экологии и истощение ископаемых ресурсов вызывает необходимость использования возобновляемых топлив. Одним из возможных способов их получения является преобразование углекислого газа (CO_2) в полезные продукты с высокой добавленной стоимостью. Освоение данного процесса одновременно позволит сократить имеющиеся накопления CO_2 в атмосфере и замкнуть углеродный цикл в энергетике [1]. Несмотря на то, что на сегодняшний день разрабатываются разные способы преобразования углекислого газа, его фотокаталитическое восстановление является наиболее перспективным и экологически обоснованным, поскольку используемая энергия возникает в результате преобразования энергии падающего электромагнитного излучения при комнатной температуре. Однако для повышения эффективности восстановления углекислого газа до метана и других полезных продуктов катализатор дополнительно нагревают. Для такого фототермокаталитического процесса перспективно использование оксисульфида висмута ($\text{Bi}_2\text{O}_3\text{S}$), поскольку он обладает большим поглощением света в УФ- и видимом диапазонах [2]. Однако необходимо оптимизировать методику его получения - создание материала, который поглощает в широком диапазоне длин волн и обладает подходящими энергиями фотоэлектронов и морфологией, становится следующим шагом повышения эффективности преобразования CO_2 .

Для исследования влияния метода и параметров синтеза на свойства оксисульфида висмута были получены образцы по трем разным методикам. В первом случае образцы получали гидротермальным методом [3], добавляя в водную смесь нитрата висмута и тиомочевины гидроксид калия для достижения сильнощелочной среды с последующей обработкой при 200 °С в течение 4–120 ч. По второй методике нитрат висмута и тиомочевину смешивали в растворе этиленгликоля в воде и добавляли гидроксид калия, затем смесь автоклавировали при 120 °С в течение 3, 6 или 12 ч [4]. В последнем методе синтеза сначала суспензировали нитрат висмута в воде, затем к нему добавляли раствор тиомочевины в гидразине и навеску гидроксида калия [5]. После этого смесь подвергали ультразвуковой обработке и перемешивали в течение 12 ч. После каждого синтеза полученный осадок несколько раз промывали водой и сушили в вакууме более 10 ч при 70 °С.

Исследование полученных образцов методом РФА показало, что все три способа позволили получить окристаллизованные частицы оксисульфида висмута. По данным спектроскопии диффузного отражения в УФ- и видимом диапазонах вне зависимости от метода синтеза полученные образцы поглощали свет во всем исследуемом диапазоне длин волн (250–850 нм), что хорошо соотносится с литературными данными. При этом на снимках СЭМ наблюдалось значительное различие в морфологии полученных образцов. В синтезе с гидразином происходило образование агломератов пластинчатых структур разной формы. В случае сольвотермального метода формировались цветочкоподобные структуры размером менее 1 мкм, при этом увеличение времени обработки приводило к частичному разрушению полученной структуры. В то же время гидротермальная обработка способствовала образованию отдельных пластинок размером 0.3–1 мкм. С увеличением времени гидротермального синтеза происходило увеличение их размера.

Дополнительно для сравнения поведения фотогенерированных носителей зарядов в получаемых материалах катализаторы были охарактеризованы комплексом фотоэлектрохимических методов, включающем измерение фототока, спектроскопию электрохимического импеданса и определение потенциала плоской зоны по методу Мотта-Шоттки. Сравнение морфологических, каталитических и фотоэлектрохимических свойств образцов показало, что наибольшей активности оксисульфида висмута удастся достичь за счёт увеличения поверхности катализатора и концентрации анионных дефектов на ней.

Данные результаты полезны для получения эффективных соединений на основе оксисульфида висмута для фототермокаталитического восстановления углекислого газа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-43-00182, <https://rscf.ru/project/24-43-00182/>.

Литература:

1. Maximov A. L., Beletskaya I. P. Carbon dioxide and «methanol» economy: advances in the catalytic synthesis of methanol from CO₂ // Russian Chemical Reviews. – 2024. – Vol. 93, N 1. – P. 5101–5141.
2. Luo Y. et al. Fe doped Bi₂O₂S nanosheets for improved organic pollutants photo-Fenton degradation and CO₂ photoreduction // Separation and Purification Technology. – 2023. – Vol. 306. – P. 122734.
3. Jiang L. et al. Promoted charge separation from nickel intervening in [Bi₂O₂]²⁺ layers of Bi₂O₂S crystals for enhanced photocatalytic CO₂ conversion // Applied Catalysis B: Environmental. – 2021. – Vol. 294. – P. 120249.
4. Rong P. et al. Large-area hierarchical Bi₂O₂S flowers composed of 2D ultrathin nanosheets for high performance self-powered IR photodetector // Journal of Alloys and Compounds. – 2022. – Vol. 928. – P. 167128.
5. Seling T. R. et al. Bi₂O₂S nanosheets for effective visible light photocatalysis of anionic dye degradation // Materials Letters. – 2024. – Vol. 361. – P. 136136.

МЕХАНОАКТИВАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Т. Н. Петряева, Е. И. Сыч

Самарский государственный технический университет

г. Самара, katerina-sych@rambler.ru

Научный руководитель: Сыч Е. И., к.т.н., доцент

В работе представлены результаты механоактивации кристаллического вещества перхлората аммония вибрационным методом. Показаны изменения параметров кристаллической решетки.

The paper presents the results of mechanical activation of the crystalline substance of ammonium perchlorate by the vibration method. Changes in the parameters of the crystal lattice are shown.

Механоактивация кристаллических материалов влечет за собой различные изменения физико-механических, химических свойств. В результате внешнего воздействия на твердое тело возникают такие

явления как механохимические реакции, ускорение процессов переноса, выделение тепла и др. [1-3]. Не все возможности механоактивации до конца изучены, в частности это касается кристаллических энергонасыщенных материалов, для которых любые изменения реакционной активности влекут за собой изменения в чувствительности к внешним воздействиям. Результаты многих исследований в этой области позволяют утверждать о существовании зависимости реакционной способности кристаллических материалов от состояния тонкой кристаллической структуры (ТСК) [4,5].

Изменение параметров ТСК (искажения кристаллической решетки, относительная интенсивность, уширение дифракционных максимумов и т.д.), может внести существенный, а иногда даже больший, чем диспергирование, вклад в изменение реакционной способности механически активированных твердых веществ [1].

Одним из возможных методов реализации механоактивации является виброактивация [3]. Виброактивация способствует перемещению упруго-пластичных волн в кристалле и облегчает проникновение дислокаций в его объем.

Исследования изменения ТКС кристаллического вещества ПХА проводилось с использованием вибрационного метода механоактивации с варьированием параметров вибрации (табл.1). ПХА использовался крупной марки с размерами кристаллов до 315 мк. Время проведения виброактивации 30 мин, в инертной среде.

Таблица 1 - РФА кристаллического исходного материала и материала, обработанного вибрацией

№	Относительная интенсивность I/I_{100} , %				№	Уширение, мм			
	Исх.	45 Гц	80 Гц	100 Гц		Исх.	45 Гц	80 Гц	100 Гц
1	Исх.	45 Гц	80 Гц	100 Гц	6	Исх.	45 Гц	80 Гц	100 Гц
2	0,18	0,155	0,34	0,222	7	1,9	1,8	1,9	2,0
3	0,49	0,569	0,712	0,448	8	2,7	2,7	2,3	2,7
4	0,14	0,333	0,99	0,448	9	2,0	2,0	2,5	1,8
5	0,4	0,382	0,15	0,557	10	2,0	2,0	2,1	1,8
Межплоскостное расстояние d , Å									
№	Исх.	45 Гц	80 Гц	100 Гц	№	Исх.	45 Гц	80 Гц	100 Гц
1	5,7834	5,802	5,791	5,794	6	3,455	3,464	3,453	3,442
2	4,5847	4,589	4,60	4,591	7	3,256	3,325	3,277	3,265
3	3,9137	3,922	3,913	3,927	8	2,971	2,973	2,968	2,971
4	3,7277	3,727	3,726	3,731	9	2,900	2,905	2,898	2,895
5	3,61	3,608	3,476	3,616	10	2,596	2,598	2,595	2,599

По полученным данным можно сделать вывод о том, что параметры ТКС кристаллического материала после механоактивации вибрацией изменяются, в том числе абсолютная (I) и относительная (I/I_{100}) интенсивность. Вне зависимости от частоты вибрационного воздействия показатель не деформированных кристаллов снижается. Однако при частоте 44 Гц значения I/I_{100} для многих углов отражения превышают аналогичные для чистого ПХА. Это объясняется тем, что интенсивность реперного пика, принятого за 100 %, уменьшилась в результате вибрационного воздействия.

Наблюдаются нарушения кристаллической структуры. Разупорядочение кристаллографических плоскостей проявляется в изменении относительных интенсивностей дифракционных максимумов, вершины которых у активированных образцов в некоторых случаях не могут быть строго идентифицированы.

Изменение структуры активированных и исходных кристаллов ПХА также фиксировалось с помощью растровой электронной микроскопии. Наблюдалось увеличение количества дефектов, изменение средних размеров кристаллов, фракционного состава.

Испытания показали влияние механической обработки монокристаллов на кристаллическую структуру (плотность дислокаций, кристалличность, межплоскостное расстояние и т.д.), а также влияние условий проведения виброактивации на параметры тонкой кристаллической структуры кристаллов ПХА.

Литература:

1. Болдырев Б. В., Авакумов Е. Г. Механохимия твердых неорганических соединений. // Успехи химии. – 1971. – Т. 40, № 10. – С. 1835-1851.
2. Авакумов Е. Г. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий / Изд-во СО АН РФ. – Новосибирск, 2009. – 343 с.
3. Болдырев, В. В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // Успехи химии. – 2006. – № 75 (3). – С. 204–218.
4. Сыч Е. И., Епифанов В. Б. Механическая активация высокоэнергетических материалов как способ повышения энергетики изделий на их основе В сб.: Наука. Промышленность. Оборона. XIX Всероссийская научно-техническая конференция. 18-20.04. 2018 г. – Новосибирск, 2018. – С. 147-150
5. Епифанов В. Б., Сыч Е. И. Механическая активация энергетических веществ: монография. – Самара, Изд-во: АСТАРД, 2016. – 228 с.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ КОБАЛЬТАТОВ $YBaCo_2O_{5+x}$ И РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НИХ

Д. В. Побеленская^{1,2}, Д. И. Гапич², В. А. Кузнецов^{1,2}

¹ Новосибирский государственный технический университет

² Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,
г. Новосибирск, pobelenskaya03@mail.ru

Научный руководитель: Кузнецов В. А.^{1,2}, к.т.н., с.н.с.

Исследование термоэлектрических свойств и релаксационных процессов слоистых кобальтатов $YBaCo_2O_{5+x}$ является актуальной задачей, поскольку позволит установить взаимосвязь между термоэлектрическими свойствами данных соединений с их составом и структурными особенностями. В рамках данной работы проведены исследования температурных зависимостей термоэлектрических свойств кобальтатов $YBaCo_2O_{5,000}$, показано их изменение с течением времени.

Such an essential task as studying of the thermoelectrical properties and relaxation processes of the layered cobalt oxides $YBaCo_2O_{5+x}$ will allow us to detect an interaction of the oxide thermoelectrical properties with their composition and structural features. Within this work, the study of the temperature dependences of the thermoelectrical properties of the cobaltites $YBaCo_2O_{5+x}$ has been carried out, a property change over time has been shown.

Оксиды переходных металлов (манганиты, купраты, кобальтаты и др.) представляют собой интерес благодаря ряду интересных и полезных свойств. Так, данный класс соединений перспективен для применения в области термоэлектрических приложений благодаря высоким значениям коэффициента термоЭДС. Еще одна особенность сложных оксидов была обнаружена в оксиде кобальта Na_xCoO_2 — высокотемпературная сверхпроводимость [1]. Однако изучение слоистых оксидов осложняется сильными взаимодействиями в их электронной подсистеме [2]. Наиболее модельным и простым для изучения представителем слоистых оксидов является кобальтат $YBaCo_2O_{5+x}$, где Y — это диамагнитный редкоземельный металл.

В рамках настоящей работы были получены поликристаллические образцы $YBaCo_2O_{5,000}$ методом твердофазного синтеза из стехиометрической смеси Y_2O_3 , $BaCO_3$ и Co_3O_4 . Время отжига образцов в несколько раз превышало время кислородного обмена при данной температуре.

Изучение поведения зависимостей коэффициента термоЭДС и электросопротивления $YBaCo_2O_{5,000}$ от температуры, измеренных в

диапазоне от 77,4 К до 390 К, показало их изменение с течением времени выдержки образцов в инертной атмосфере (рис. 1).

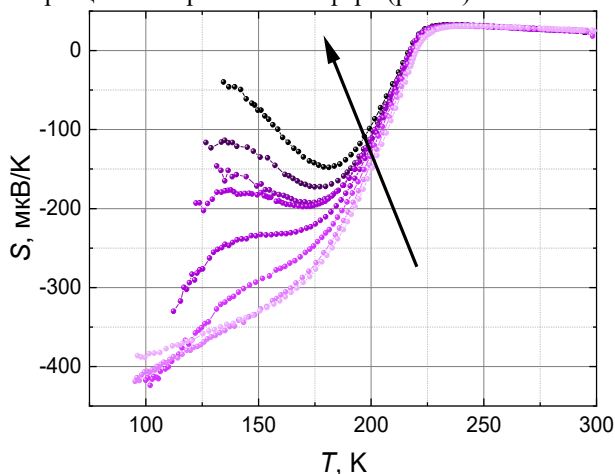


Рис. 1 – Зависимости коэффициента термоЭДС образца $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5,000}$ от температуры, измеренные через промежутки времени, последняя зависимость измерена через 4 месяца со дня синтеза образца

Несмотря на достаточно продолжительное время выдержки образцов в инертной атмосфере значения коэффициента термоЭДС и удельного электросопротивления образца продолжают изменяться при комнатной температуре, также изменяются их температурные зависимости. Причем значение величины удельного электросопротивления при комнатной температуре возрастает на порядок, а значение коэффициента термоЭДС уменьшается несущественно. Такое поведение термоэлектрических параметров образца $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5,000}$ свидетельствует о длительных временах релаксации данных соединений. Подобного влияния релаксационных процессов на термоэлектрические свойства слоистых оксидов ранее не было показано ни для одного из представителей сложных оксидов.

Литература:

1. Superconductivity in two-dimensional CoO_2 layers / K. Takada, H. Sakurai, E. Takayama-Muromachi, F. Izumi, R. A. Dilanian, T. Sasaki // Nature. – 2003. – Vol.6, N. 422. – P. 53–55. – doi:10.1038/nature01450.
2. Complexity in Strongly Correlated Electronic Systems / E. Dagotto // Science. 2005. V. 309. № 257. P. 257. – doi:10.1126/science.1107559.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ WAAM

И. Е. Реентов, А. А. Никулина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ivanreentov@gmail.com**

Научный руководитель: Никулина А. А., д.т.н., доцент

В работе проведено исследование структуры и фазового состава трехслойного разнородного соединения «титан BT1-0 – медь – сталь 12X18H10T», полученного методом аддитивного производства WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing). Целью работы был анализ межфазных зон, образующихся между разнородными материалами, при различных режимах наплавки (90 А, 70 А и 50 А).

This work investigates the microstructure and phase composition of a three-layer dissimilar joint "ASTM Grade 2 – copper – AISI 321" fabricated by Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM). The study aims to analyze the interfacial zones formed between the dissimilar materials under different deposition regimes (90 A, 70 A, and 50 A).

В данной работе объектом исследования является трёхслойная разнородная структура, сформированная методом WAAM. Структура состоит из титановой подложки (сплав BT1-0), на которую наплавлен промежуточный слой меди (Cu), с последующим нанесением верхнего слоя из легированной стали 12X18H10T. Подобные гибридные структуры могли бы найти применение в нагруженных узлах трения с требованием теплоотвода, деталях химической аппаратуры и ряде других применений [1,2].

Целью работы является комплексное исследование особенностей строения и фазового состава межфазных зон в разнородном соединении «титан BT1-0 – медь – легированная сталь», полученном методом WAAM. Анализ проводился для трех систем, наплавленных с различной силой тока: 90 А, 70 А и 50 А.

Ключевой проблемой при создании соединения титан-медь (Ti-Cu) является их значительная физико-химическая несовместимость: разница в теплопроводности и склонность к образованию хрупких интерметаллидных фаз (Ti_2Cu , $TiCu$), что приводит к охрупчиванию зоны соединения [2,3]. Соединение медь-сталь также осложнено из-за различий в теплофизических свойствах, что может вызывать непроплавление и, в некоторых случаях, миграцию меди по границам зерен аустенитной стали [4].

Прямое соединение титана со сталью невозможно из-за образования хрупких фаз ($FeTi$, Fe_2Ti). Использование меди в качестве

промежуточной прослойки является классическим решением, описанным в литературе. Медь служит буфером, предотвращающим прямое взаимодействие Ti и Fe, и пластичным слоем, компенсирующим термические напряжения [2,3].

При 90 А на границе раздела титана с медью фиксируются составы, близкие к стехиометрии интерметаллидных фаз системы Ti-Cu. В нескольких точках анализа зафиксирован состав с примерным соотношением, близким к 1:1 – фаза TiCu. В зоне контакта стали с медью зафиксированы составы, показывающие активную диффузию меди в сталь, но не наоборот. Так, например, в области активного перемешивания в объеме стального валика содержание железа превосходит 14,00 ат. % и других элементов стали, что указывает на формирование твердых растворов на основе меди и возможное выделение мелкодисперсных фаз. При этом содержание титана так же высоко, поскольку он мог диффундировать в сталь вместе с медью. Данные измерений занесены в сравнительную таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты спектрального анализа по точкам

	Режим	Ti, ат. %	Cu, ат. %	Fe, ат. %	Cr, ат. %	Ni, ат. %
Граница “титан-медь”	90 А	50,50	49,50	–	–	–
	70 А	51,84	45,81	1,50	0,49	0,35
	50 А	61,31	34,84	2,53	0,77	0,55
Точка в объёме меди	90 А	48,14	33,17	14,57	2,45	1,67
	70 А	49,04	45,85	3,34	1,15	0,63
	50 А	28,16	71,21	0,63	–	–
Граница “медь-сталь”	90 А	47,23	49,84	1,72	0,77	0,44
	70 А	46,28	51,28	1,31	0,72	0,42
	50 А	25,89	71,58	1,36	0,66	0,48
Точка в объёме стали	90 А	49,18	32,70	13,08	3,08	1,96
	70 А	17,89	4,81	52,56	19,44	5,30
	50 А	29,14	26,90	31,06	10,07	2,83

Результаты при 70 А качественно повторяются, как и при 90 А. В области медной прослойки и на границе титан-медь присутствуют интерметаллиды Ti-Cu со стехиометрией 1:1. В стальной матрице наблюдается повышение количества железа, хрома и никеля – диффузия меди и титана гораздо слабее, как и их перемешивание в процессе расплава.

При режиме 50 А наблюдается аналогичная картина, однако отличаются ширина зоны взаимодействия и образовавшиеся фазы.

Например, в граничной зоне зафиксирован состав, соответствующий фазе Ti_2Cu . Также наблюдается диффузия железа. По мере удаления от межфазной границы в сторону меди состав стабилизируется: содержание титана составляет 28,16 ат. %, а меди – 71,21 ат. % – твердый раствор титана в меди. Область стали и её границы с медью также имеет схожую тенденцию с 90 А, однако с меньшей диффузией титана.

Таким образом, на основании микрорентгеноспектрального анализа было установлено, что при большей силе тока более высокое количество тепла ускоряет диффузию элементов и способствует более активному перемешиванию. Нежелательные интерметаллидные фазы были замечены при каждом режиме, что может ухудшить конструкционные свойства данного соединения.

Литература:

1. Metallurgical Strategies for the Joining of Titanium Alloys with Steels / I. Tomashchuk, P. Sallamand // Advanced Engineering Materials. – 2018. – Vol. 20, N 6. – doi: 10.1002/adem.201700764.
2. A review of dissimilar welding for titanium alloys with light alloys / Y. Zhang, D. Yu, J. Zhou, D. Sun // Metallurgical Research & Technology. – 2021. – Vol. 118, N 2. – doi: 10.1051/metal/2021011.
3. \. Review of Ti to Steel Dissimilar Joining / Z. Yu, S. M. Gilbert, S. Liu // Crimson Publishers. – 2018. – Vol. 5, N 5. – doi: 10.31031/RDMS.2018.05.000623.
4. Gao Y., Tsumura T., Nakata K. Dissimilar Welding of Titanium Alloys to Steels // Transactions of JWRI. – 2012. – Vol. 41, N 2. – P. 7-12.

ЭЛЕКТРОЛИТ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

П. А. Рубилкин¹, А. С. Улихин^{1,2}, Н. Ф. Уваров^{1,2}

**¹Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет,**

**² Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, p.rubilkin@g.nsu.ru**

Научный руководитель: Улихин А. С., д.х.н.

В ходе работы был синтезирован новый электролит на основе соли перхлорат N-метил-N-н-пропил-пиперидиния ($[MPPP]ClO_4$) и $AlCl_3$. Установлено, что полученное соединение обладает потенциалом разложения 3,2В, а значения удельной проводимости превышают 10^{-4} См/см при комнатной температуре. Полученные результаты свидетельствуют о том, что

полученное соединение является перспективным электролитом для использования в алюминиевых источниках тока.

In this work, a new electrolyte was synthesized based on the salt N-methyl-N-n-propyl-piperidinium perchlorate ([MPPP]ClO₄) and AlCl₃. It was found that the obtained compound has a decomposition potential of 3.2V, and the specific conductivity values higher 10⁻⁴ S/cm at room temperature. These results indicate that the obtained compound is a promising electrolyte for use in aluminum batteries.

Алюминиевые вторичные источники тока являются перспективными устройствами накопления энергии. Данные аккумуляторы обладают низкой стоимостью и повышенной теоретической ёмкостью, благодаря участию трёх электронов в окислительно-восстановительной реакции $\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}$ [1]. На данный момент в исследованиях широко используются электролиты на основе глубокоэвтектических растворителей (ГЭР) и соединения хлорида алюминия (AlCl_3) с солями имидазолия – ионные жидкости [2].

Ионные жидкости (ИЖ) обладают высокими значениями удельной проводимости и термической стабильности. Они остаются жидкими в широких температурных диапазонах и обладают потенциалом разложения 2,5В. Однако, высокая стоимость ограничивает их практическое применение. В качестве альтернативы рассматриваются электролиты на основе ГЭР. Они образуются при смешивании кислоты Льюиса, например AlCl_3 , и основания Льюиса, например мочевины и ацетамид [3]. Электролиты на основе приведённых смесей обладают низкой стоимостью и сравнимыми с ИЖ значениями удельной проводимости. Недостатками данных ГЭР являются высокая вязкость и повышенная кислотность, которая может стать причиной коррозии алюминиевого электрода [4].

В настоящей работе был синтезирован новый ГЭР на основе соли перхлорат N-метил-N-н-пропил-пиперидиния ($[\text{MPPP}]\text{ClO}_4$) и AlCl_3 . Соединение было получено в сухом боксе путём смешения сухих компонентов в соответствующих пропорциях.

На рис. 1 приведены результаты исследования ионной проводимости в зависимости от температуры и состава бинарной смеси AlCl_3 – $[\text{MPPP}]\text{ClO}_4$. Видно, что наибольшим значением проводимости обладает система содержащая 44 % масс. ($\sim 10^{-3}$ См/см при $T = 25^\circ\text{C}$). Изотермы проводимости ведут себя нелинейным образом. Это обусловлено тем, что вне точки система не является гомогенной. До 44 % масс. присутствует избыток $[\text{MPPP}]\text{ClO}_4$, в то время как при концентрации добавки свыше 44 % масс. присутствует избыток AlCl_3 .

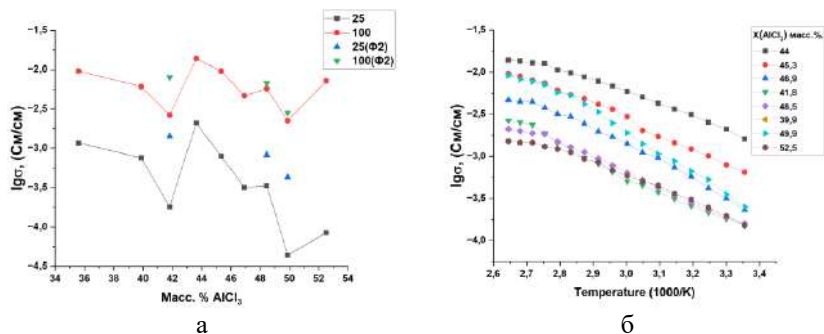


Рис.1. – Зависимость удельной проводимости от концентрации AlCl_3 (а) и от температуры (б).

Электрохимические исследования проводились на ячейке монетного типа CR2032. Ширина окна электрохимической стабильности определялась для электролита состава 44 % AlCl_3 — 56 % $[\text{МРПП}]\text{ClO}_4$ (масс. %), в электрохимической ячейке $\text{Al}/\text{Электролит}/\text{Нерж. сталь}$ методом линейной развертки потенциала при 25 °С (рис. 2).

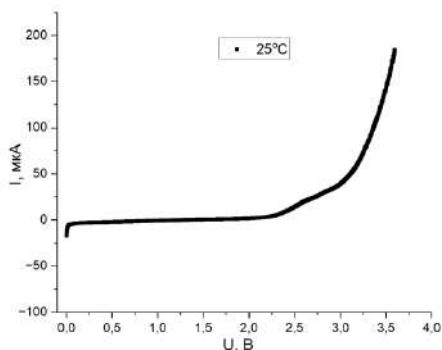


Рис. 2 – Вольтамперная кривая ячейки $\text{Al}/\text{Электролит}/\text{Нерж. сталь}$, где электролит - AlCl_3 – $[\text{МРПП}]\text{ClO}_4$ с концентрацией AlCl_3 равной 44 масс. % при температуре 25 °С

Результаты работы указывают, что ионная проводимость полученного ГЭР достигает значения $\sim 10^{-3}$ См/см при комнатной температуре, а потенциал разложения составляет 3,2 В. Таким образом полученное соединение является перспективным электролитом для использования в алюминиевых аккумуляторах.

Литература:

1. Jiang M. et al. Challenges and strategies of low-cost aluminum anodes for high-performance Al-based batteries //Advanced Materials. – 2022. – Vol. 34, N 2. – P. 2102026.
2. Ng K. L., Amrithraj B., Azimi G. Nonaqueous rechargeable aluminum batteries //Joule. – 2022. – Vol. 6, N 1. – P. 134-170.
3. Tu J. et al. Nonaqueous rechargeable aluminum batteries: progresses, challenges, and perspectives //Chemical reviews. – 2021. – Vol. 121, N 8. – P. 4903-4961.
4. Wang C. et al. The electrochemical behavior of an aluminum alloy anode for rechargeable Al-ion batteries using an AlCl₃-urea liquid electrolyte //RSC advances. – 2017. – Vol. 7, N 51. – P. 32288-32293.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОР ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Д. А. Селезнева

**Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет, Институт катализа им. Г.К.
Борескова СО РАН, г. Новосибирск, d.podkorytova@g.nsu.ru
Научные руководители: Воробьева Е. Е., к.х.н. Пархомчук Е. В.**

В данной работе представлено исследование формирования алюмооксидных материалов с иерархической структурой пор с использованием методики темплатного синтеза, заключающейся в механическом смешении различных предшественников оксида алюминия с выгорающей добавкой (до 25 мас. %) — полимерными микросферами, и пептизатором с последующей термической обработкой. Используются предшественники, производимые на территории РФ.

This paper presents a study of the formation of alumina oxide materials with a hierarchical pore structure using a template synthesis technique involving the mechanical mixing of various aluminum oxide precursors with a burn-out additive (up to 25 wt.%) — polymer microspheres, and a peptizer followed by heat treatment. The precursors produced in the territory of the Russian Federation were used.

Современные исследования направлены на создание каталитических и сорбционных материалов, обладающих такой структурой пор, которая обеспечивает эффективный массоперенос реагентов и продуктов, пространство для отложений побочных продуктов и высокую удельную поверхность для локализации активных центров. Структура, в которой поры различного размера выполняют разные функции, с существенным вкладом в общий объем пор каждой категории пор называют

иерархическими. Темплатный синтез – один из методов создания иерархии пор оксида алюминия – предполагает смешение $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ с темплатом («шаблоном») с последующим отжигом. В результате получаемая структура пор имеет сеть эффективно связанных между собой макропор, отсутствующих в бестемплатном аналоге, мультимодальное распределение пор по размеру и увеличенный удельный объем пор [1, 2].

В данной работе исследовано влияние фазового состава и размера ОКР $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ на формирование иерархической структуры пор алюмооксидных материалов.

Показано, что использование многофазного (байерит, псевдобемит) и монофазного (бемит, ОКР более 11 нм) предшественника позволяет получить материалы с иерархической структурой пор при добавлении 40 мас.% темплата (Рис. 5). В свою очередь, смешение 40 мас.% темплата с монофазными предшественниками (псевдобемит, бемит, ОКР менее 11 нм) не дает иерархической структуры пор (Рис. 5). Экспериментально измеренный объем пор существенно отличается от теоретического ожидаемого значения ртутная порометрия не показывает наличия пор, соответствующих темплату вследствие малой связности макропор.

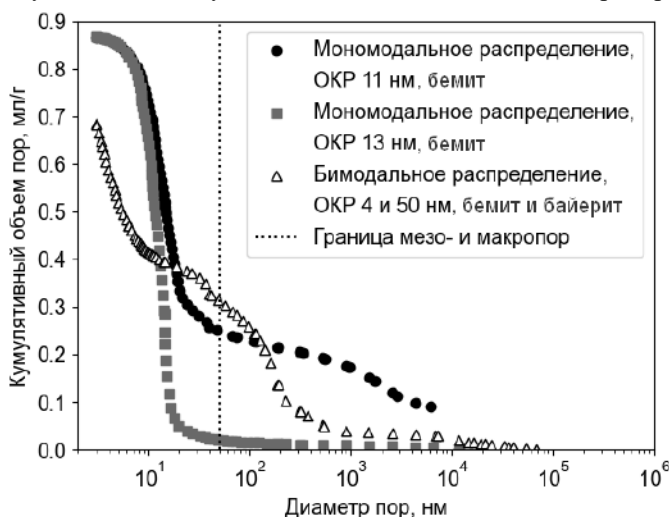


Рис. 5 – Графики интрузии ртути в гранулы оксида алюминия, полученные из предшественников с различным составом и распределением частиц по размеру.

Выявлено, что получение алюмооксидных материалов с иерархической структурой пор (увеличение связности макропор) из предшественников с размером ОКР менее 11 нм возможно при увеличении количества добавляемого темплата, связующего компонента – воды, или путем введения временных технологических добавок (органических кислот и карбоната аммония).

Закключение: в ходе работы выявлена проблема темплатного получения иерархически пористых оксидов алюминия из псевдобемитов с размером ОКР менее 11 нм. В качестве решения предложено увеличение доли темплата, воды или временных технологических добавок в смеси предшественников.

Литература:

1. Пархомчук Е. В. и др. Темплатный синтез 3-D структурированных макропористых оксидов и иерархических цеолитов // Катализ в промышленности. – 2014. – №. 4. – С. 23-32.

2. Yang X. Y. et al. Hierarchically porous materials: synthesis strategies and structure design // Chemical Society Reviews. – 2017. – Т. 46. – №. 2. – С. 481-558.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ОКСИДА МАРГАНЦА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА MN-ZN ФЕРРИТОВ

Р. Р. Хабиров, А. А. Миллер, М. Ю. Агафонов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, habirov.2016@stud.nstu.ru**

Научный руководитель: Кузьмин Р. И., к.т.н., доцент

Установлено, что увеличение удельной площади поверхности α -Mn₂O₃, полученного осаждением из водного раствора, увеличивает интенсивность распада фазы шпинели при медленном охлаждении после ферритизации порошковой смеси α -Fe₂O₃, ZnO, α -Mn₂O₃ при 1000 °С. С увеличением $S_{уд}$ α -Mn₂O₃, повышается плотность, снижается размер зерен, начальная магнитная проницаемость и магнитные потери Mn-Zn ферритов, полученных двухстадийным спеканием.

It was found that increasing the specific surface area of α -Mn₂O₃, synthesized by precipitation from solution, enhances the rate of decomposition of the spinel phase during slow cooling following ferritization of the powder mixture of α -Fe₂O₃, ZnO, and α -Mn₂O₃ at 1000 °C. As the S_a (specific surface area) of α -Mn₂O₃ increases, the density rises, the grain size decreases, and both the initial permeability and magnetic losses of the two-stage sintered Mn-Zn ferrites are reduced.

Уровень свойств Mn-Zn ферритовых сердечников для силовой электроники в значительной степени определяется свойствами исходных порошков [1]. Значительное внимание в литературе посвящено исследованию влияния α -Fe₂O₃, однако марганецсодержащие порошки изучены недостаточно. Получение порошков методами мокрой химии, такими как осаждение из раствора, позволяет контролировать фазовый состав, дисперсность, морфологию частиц [2]. Однако большинство исследований посвящено химическому синтезу функциональных ферритовых нанопорошков, а применение этих материалов для спекания сердечников изучено недостаточно. Целью данной работы является изучение влияния дисперсности марганецсодержащих порошков, полученных осаждением из раствора, на формирования фазового состава, структуры и свойств Mn-Zn ферритов.

Оксид марганца α -Mn₂O₃ с удельной площадью поверхности ($S_{уд}$) от 1,1 до 13,4 м²/г получен осаждением из раствора сульфата марганца и термической обработкой при 600-1000 °С. Порошковые смеси Fe₂O₃, ZnO, α -Mn₂O₃ смешивали в шаровой мельнице и подвергали термической обработке на воздухе при 400-1000 °С. Методом адсорбции-десорбции азота и рентгенофазового анализа определяли $S_{уд}$ и фазовый состав порошковых смесей после закалки с 400-1000 °С и медленного охлаждения с 1000 °С. Для получения сердечников Mn-Zn ферритов порошковую смесь после ферритизации при 1000 °С и медленного охлаждения измельчали в шаровой мельнице, гранулировали, спекали в среде с контролируемым давлением воздуха. Кажущуюся плотность и открытую пористость определяли методом гидростатического взвешивания. Начальную магнитную проницаемость μ_i и магнитные потери определяли на кольцевых сердечниках с обмоткой медным кабелем с использованием анализатора импеданса TH2840B и В-Н анализатора DX-2012SA.

По результатам исследований порошковых смесей после термической обработки и закалки установлено, что увеличение дисперсности α -Mn₂O₃ приводит к пропорциональному росту $S_{уд}$ смесей. При 400 °С она принимает значения от 4,3 до 7,5 м²/г и равномерно снижается до значений 1,15-1,5 м²/г при 1000 °С. В процессе фазовых превращений порошковых смесей при 700 °С формируется фаза ZnMn₂O₄, содержание которой пропорционально удельной площади поверхности исходного α -Mn₂O₃. Распад манганата цинка зафиксирован при 900 °С. После закалки при 1000 °С порошковые смеси состоят из 55-58 масс. % феррита-шпинели и 42-44 масс. % α -Fe₂O₃, при этом содержание шпинели ниже в порошках, полученных из высокодисперсного оксида марганца.

После медленного охлаждения с 1000 °С концентрация феррита во всех смесях снижается. Это происходит в результате окисления Mn^{2+} до Mn^{3+} на воздухе. Увеличение концентрации Mn^{3+} приводит к вытеснению ионов Fe^{3+} из кристаллической решетки феррита и формированию фазы $\alpha-Fe_2O_3$ [1]. Кроме этого, после медленного охлаждения сформировалась фаза с кристаллической решеткой типа $\alpha-Mn_3O_4$, содержание которой выше в смесях, полученных из оксида марганца с наибольшей $S_{уд}$. Известно, что окисление Mn^{2+} до Mn^{3+} приводит к перенасыщению решетки феррита ионами Mn^{3+} и в конечном итоге к выделению $\alpha-Mn_2O_3$ [1]. Формирование $\alpha-Mn_3O_4$ в данном случае может быть связано с частичным восстановлением Mn^{3+} до Mn^{2+} в выделившемся оксиде марганца в процессе охлаждения на воздухе [2].

Для исследования особенностей формирования микроструктуры ферритов, полученных из оксидов марганца с разной дисперсностью, была получена серия сердечников с быстрым охлаждением после выдержки при 1200-1300 °С. Установлено, что увеличение температуры с 1200 до 1300 °С при выдержке в течение 3 часов приводит к увеличению среднего размера зёрен во всех исследованных материалах. При этом увеличение длительности выдержки до 6 часов не способствует росту зёрен. Это связано с укреплением границ на малоподвижных порах, примесях и других препятствиях, концентрация которых с увеличением среднего размера зерен возрастает [3].

В структуре спеченных ферритов зафиксированы признаки вторичной рекристаллизации – аномально крупные зерна со средним размером >50 мкм. Средний размер и объемная доля таких зерен пропорциональны температуре спекания и дисперсности оксида марганца, использованного для синтеза феррита. При этом в случае $\alpha-Mn_2O_3$ с $S_{уд}$ 1,1 м²/г крупные зерна не зафиксированы при всех режимах спекания. Наибольшее влияние на вторичную рекристаллизацию оказало увеличение времени выдержки при 1300 °С с 3 до 6 часов – доля аномально крупных зёрен при этом увеличилась до 25-100 об. %. Причиной вторичной рекристаллизации является неравномерное распределение пор и примесей, сдерживающих миграцию границ, а также случайное распределение частиц с благоприятными условиями для ускоренного роста (кристаллографическая ориентация, начальный размер) [3]. Увеличение времени выдержки позволяет зернам, границы которых укреплены слабее, ускоренно расти, поглощая мелкие зерна, для которых движущая сила миграции границ при данной температуре ниже, чем сила закрепления на порах и частицах примесей [4].

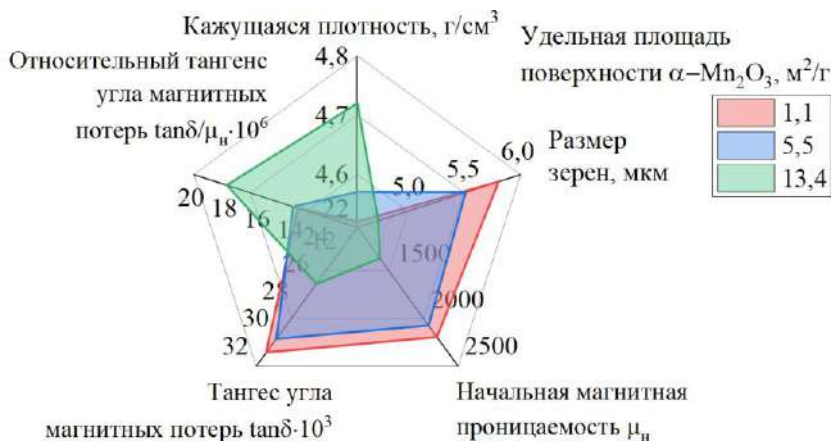


Рис.1 – Свойства спеченных ферритов

Для оценки наиболее значащих параметров спекания был применён двухстадийный режим – выдержка при 1250°C в течение 10 минут, охлаждение до 1200°C и выдержка в течение 5 часов. Согласно известным исследованиям [5], двухстадийное спекание должно способствовать достижению высокой плотности и предотвращать значительный рост зёрен, так как за счет снижения температуры выдержки миграция границ замедляется, но диффузионные механизмы заполнения пор продолжают действовать. По результатам спекания установлено, что двухстадийный синтез позволил получить ферриты со средним размером зерен аналогичным образцам, спеченным при 1250°C в течение 3 часов. Аномально крупные зерна при этом не зафиксированы. На рис. 1 представлены свойства спеченных по двухстадийному режиму ферритов, полученных из оксида марганца с удельной площадью поверхности $1,1\text{--}13,4 \text{ м}^2/\text{г}$. С увеличением дисперсности $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$ уменьшается средний размер зерен ферритов, что приводит к снижению начальной магнитной проницаемости. В то же время применение $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$ с высокой удельной площадью поверхности позволило повысить плотность и уменьшить магнитные потери в спеченных Mn-Zn ферритах.

По результатам исследования установлено, что дисперсность порошков оксидов марганца влияет на закономерности фазовых превращений в порошках Mn-Zn ферритов. С увеличением $S_{\text{уд}}$ увеличивается интенсивность распада фазы шпинели и формирования фазы $\alpha\text{-Mn}_3\text{O}_4$ при медленном охлаждении после ферритизации на воздухе порошковых смесей $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, ZnO и $\alpha\text{-Mn}_2\text{O}_3$. В структуре ферритовых сердечников, полученных из высокодисперсного оксида

марганца, при спекании формируются аномально крупные зерна. Двухстадийное спекание позволяет предотвратить вторичную рекристаллизацию и получить мелкозернистую керамику. С увеличением $S_{уд}$ повышается плотность, снижается размер зерен, начальная магнитная проницаемость и магнитные потери ферритов.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП "Структура, механические и физические свойства материалов".

Литература:

1. Такэси Т. Ферриты. – М.: Металлургия, 1964. – 195 с.
2. Heat treatment effects on microstructure and magnetic properties of Mn-Zn ferrite powders / P. Hu, H. Yang, D. Pan, H. Wang // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2010. – V. 322, № 1. – P. 173–177.
3. Анциферов В. Н., Гончар А. В., Андреев В. Г., Летюк Л. М., Салдугей А. М. Водорастворимые связующие вещества в технологии порошковых ферритовых материалов. – Пермь: Пермский государственный технический университет, 1996. – 416 с.
4. Jeong G., Kim S. Grain Growth Behavior in Mn-Zn Ferrites Containing CaO and SiO₂ // Journal of Magnetism Society of Japan. – 1998. – V. 1, № 240. – P. 74–76.
5. Samieemehr M., Arab A., Kiani E. Influence of two-step sintering on power loss and permeability dispersion of MnZnNi ferrite // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2022. – V. 553. – P. 169269.

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЯ И СТАЛИ

М. И. Шефер, А. В. Неделько

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, mariashefer790@gmail.com

Научный руководитель: Батаев И. А., д.т.н., профессор

В работе предложен и опробован способ получения неразъемных соединений пластин разнородных металлов при помощи магнитно-импульсной сварки. Приводятся результаты исследований микроструктуры и твердости полученного соединения. Представлены данные, полученные с использованием оптической и растровой электронной микроскопии, которые подтверждают формирование бездефектной границы соединения. Исследования показали, что вследствие магнитно-импульсной сварки увеличивается твердость алюминия вблизи зоны сварного шва.

This paper presents and tests a method for creating permanent bonds between dissimilar metal plates using magnetic pulse welding. The results of microstructural

and hardness analyses of the joint are provided. Data obtained from optical and scanning electron microscopy confirm the formation of a defect-free interface. The findings indicate that magnetic pulse welding increases the hardness of the aluminum alloy in the vicinity of the weld zone.

Сварка разнородных металлов является востребованной, но сложной технологической задачей современного производства [1]. Магнитно-импульсная сварка (МИС) - перспективный метод для соединения трудносвариваемых материалов, основанный на высокоскоростном соударении заготовок, разгоняемых энергией импульсного электромагнитного поля [2, 3]. Данный метод характеризуется малым временем взаимодействия, что препятствует образованию хрупких интерметаллических фаз [4, 5].

Данная работа направлена на получение соединения алюминиевого сплава А5 со сталью 20 методом магнитно-импульсной сварки и исследование его структуры и механических свойств.

Эксперимент проводился на магнитно-импульсной установке с энергией 40 кДж. В качестве индуктора использовалась медная пластина. Зазор между алюминиевой и стальной пластинами составлял 2 мм, угол соударения - 10 градусов. Для микроструктурных исследований применяли оптический микроскоп Carl Zeiss Axio Observer A1m (рис. 1) и растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 50 (рис. 2). Металлографические шлифы подготавливали по стандартной методике.

Микроструктурные исследования показали образование бездефектного соединения с преимущественно ровной границей раздела. На рис. 1 представлена микроструктура соединения, где видна чёткая граница между сталью и алюминием. Компьютерное моделирование процесса сварки подтвердило, что при соударении происходит интенсивная пластическая деформация приграничных слоёв с локальным разогревом, обеспечивающая образование металлической связи [3, 4, 5].

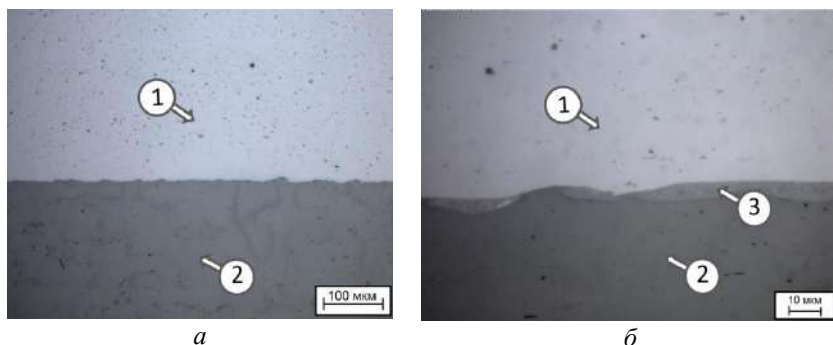


Рис. 1 – Микроструктура сварного соединения алюминия и стали:
 а – приближение 100 мкм, б– приблишение 10 мкм
 1 – алюминий, 2 – сталь, 3 – зона сварного шва

Измерение микротвёрдости по методу Виккерса на приборе Wolpert Group 402 MVD показало увеличение твёрдости алюминия вблизи зоны сварного шва приблизительно в 2 раза, в то время как упрочнения стали не наблюдалось. Твёрдость на самой границе соединения составляла ~200-300 HV, а в некоторых точках достигала порядка 400 HV.

Рост твёрдости объясняется значительной пластической деформацией материалов в процессе высокоскоростного соударения, а высокие значения твёрдости в области сварного шва – наличием интерметаллидов [3-5].

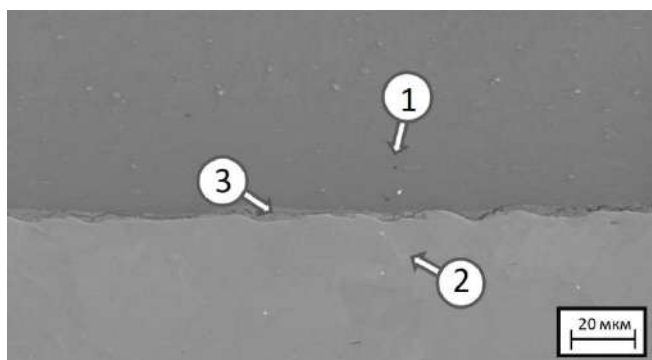


Рис. 2 – Микроструктура сварного соединения алюминия и стали
 с приближением 20 мкм
 1 – алюминий, 2 – сталь, 3 – зона сварного шва

В результате проведённых экспериментов получено неразъемное соединение, сформированное методом магнитно-импульсной сварки.

Морфология границы раздела характерна для данного способа сварки. Также наблюдается упрочнение более пластичного материала (алюминия) в приграничной зоне.

Литература:

1. Wang H., Wang Y. High-Velocity Impact Welding Process: A Review // Metals. – 2019. – Vol. 9. – Is. 2.
2. Sahlota P., Mehta K. P. Magnetic Pulse Welding // Elsevier. – 2021. – Ch. 7. – P. 179–201.
3. Анисимов А. Г. Особенности метания пластин в условиях магнитно-импульсной сварки // Физика горения и взрыва. – 2018. – № 1(54). – С. 125–131.
4. Казеев М. Н. и др. Исследование магнитно-импульсной сварки в плоской геометрии // Прикладная механика и техническая физика. – 2013. – Т. 54. – № 6. – С. 38–44.
5. Aizawa T., Kashani M., Okagawa K. Application of Magnetic Pulse Welding for Aluminum Alloys and SPCC Steel Sheet Joints // Welding Journal. – 2007. – Vol. 86. – P. 119–124.

ФОРМИРОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЁВ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ, СОДЕРЖАЩИХ TI, AL И B

С. Ю. Щербинина, А. А. Дударева

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, sofiaserbina37@gmail.com

Научный руководитель: Эмурлаев К. И., к.т.н.

Методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей титана, алюминия и бора получены модифицированные слои на хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н10Т. Выявлено, что введение бора способствует образованию ячеистой дендритной структуры, равномерно распределенной по сечению покрытия. Обогащение твердого раствора и выделение вторичных фаз приводит к повышению твердости покрытий. Кроме того, установлено, что износостойкость сформированных слоев в 6 раз выше по сравнению со сталью 12Х18Н10Т.

Modified surface layers were fabricated on austenitic chromium-nickel steel AISi321 using non-vacuum electron beam cladding of powder mixtures containing titanium, aluminum, and boron. It was found that the addition of boron promotes the formation of a cellular dendritic structure uniformly distributed throughout the coating. The enrichment of the solid solution and the precipitation of secondary phases leads to

an increase in the coating hardness. Furthermore, it was established that the wear resistance of the clad layers is 6 times higher compared to AISI321 steel.

Несмотря на высокую коррозионную стойкость, аустенитные хромоникелевые стали обладают рядом эксплуатационных ограничений, которые делают их упрочнение не просто желательным, а зачастую необходимым. Это обусловлено следующими ключевыми факторами: низкая поверхностная твердость и износостойкость, склонность к деформационному упрочнению, невысокая жаростойкость и жаропрочность. Упрочнение нержавеющей сталей является необходимостью, которая расширяет сферу их применения. Создание наплавленных слоев на стали позволяет создавать материалы с функционально-градиентными свойствами, сочетающими в одном изделии коррозионную стойкость основы с высокими механическими и триботехническими характеристиками поверхности. Это критически важно для современных высокотехнологичных отраслей: авиакосмической, химической, энергетической и пищевой промышленности, где оборудование работает в условиях совмещенных нагрузок (агрессивная среда, износ и высокая температура) [1].

В качестве метода модифицирования поверхностного слоя применялась наплавка порошковых смесей пучком релятивистских электронов, выведенным в воздушную атмосферу. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка осуществлялась на ускорителе электронов промышленного типа ЭЛВ-6 в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН. Материалом основы выступала сталь 12Х18Н10Т. Наплавляемая порошковая смесь состояла из порошков Ti, Al и В в различных соотношениях. Для предотвращения окисления ванны расплава в порошковую смесь вводился флюс LiF в соотношении 1:2 к массе порошковой смеси. Состав порошковых смесей приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Состав наплавочных смесей

Маркировка образцов	Состав порошковой смеси, вес. %			Флюс (50 вес. %)	Плотность насыпки, г/см ²
	Ti	Al	В		
Ti58Al42	58	42	0	LiF	0,5
Ti57,3Al38,7B4	57,3	38,7	4	LiF	0,5
Ti55Al33B12	55	33	12	LiF	0,5

Для всех образцов после вневакуумной электронно-лучевой наплавки можно выделить три основные зоны: модифицированный слой, переходная зона, зона основного металла. Распределение зон

представлено для образца Ti57,3Al38,7B4 (рис. 1). Модифицированные слои имеют толщину до 3 миллиметров и состоят из α -Fe и вторичных фаз. В переходной зоне наблюдаются столбчатые дендриты, которые образовались вследствие направленного теплоотвода в толщу стальной заготовки.

Измерение микротвёрдости наплавленных образцов проводили в направлении от поверхности модифицированного слоя к основному материалу. Результаты измерений микротвёрдости представлены на рис. 2. Наблюдается монотонное снижение твёрдости по мере удаления от поверхности. Градиент свойств обусловлен влиянием основного материала вследствие его перемешивания с наплавочным составом в процессе наплавки. Максимальное значение микротвёрдости (749 HV) зафиксировано в наплавленном слое образца Ti57,3Al38,7B4. Для других составов максимальные значения составили 443 HV (Ti58Al42) и 517 HV (Ti55Al33B12).

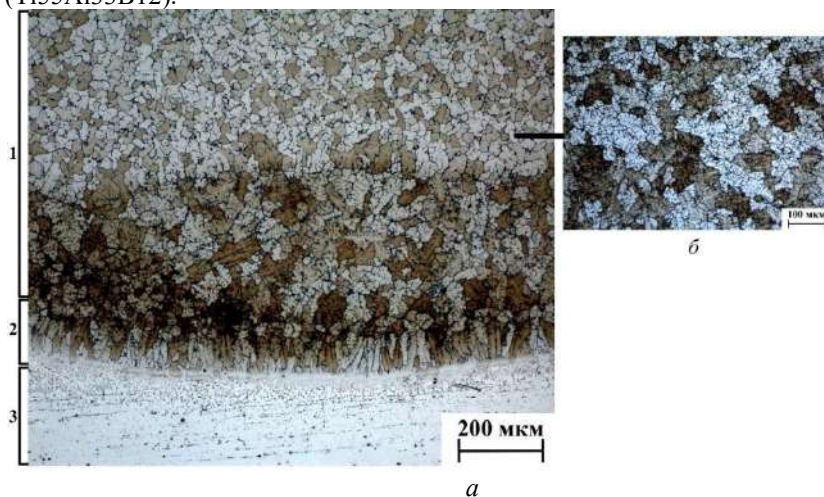


Рис. 1 – Структура образца Ti57,3Al38,7B4: а – типичная структура образцов после вневакуумной электронно-лучевой наплавки (1 – модифицированный слой, 2 – переходная зона, 3 – зона основного металла); б – типичное строение модифицированного слоя образцов

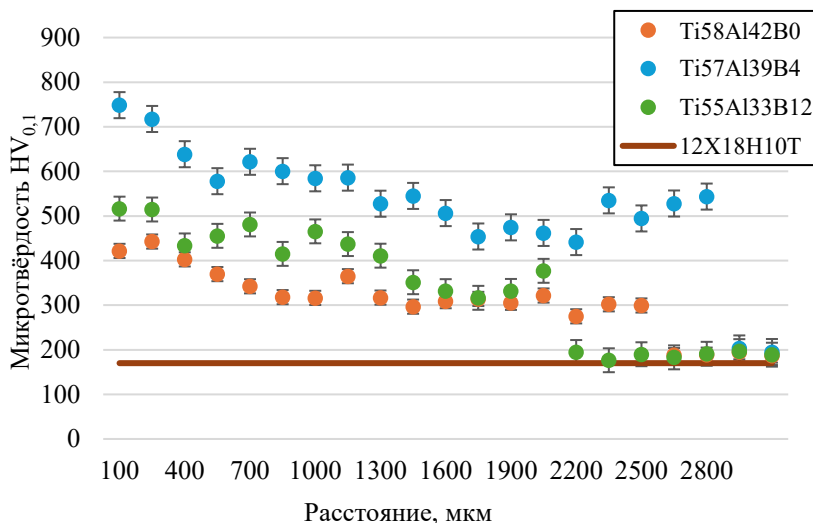


Рис. 2 – Распределение микротвёрдости по глубине слоя

Износостойкость наплавленных слоев оценивали по объёму лунок износа [2]. Показано, что введение 4 % В приводит к снижению износа, тогда как увеличение содержания бора до 12 % вызывает рост объёма изношенного материала. Аналогичная немонотонная зависимость наблюдается и для средней микротвёрдости покрытий. Вероятно, снижение износостойкости при высоком содержании бора связано с формированием пластинчатой эвтектики.

Введение бора в модифицированный слой приводит к увеличению удельного прироста массы при окислении, что свидетельствует о снижении жаростойкости. Наилучшей жаростойкостью в исследуемой серии обладает покрытие состава Ti58Al42, однако его остальные характеристики, в частности качество покрытия, являются неудовлетворительными. Наибольшая скорость окисления зафиксирована у образца Ti55Al33B12. Образец Ti57,3Al38,7B4 демонстрирует меньший прирост массы, а также превосходит другие составы по комплексу остальных свойств. Таким образом, именно покрытие состава Ti57,3Al38,7B4 может быть рекомендовано для применения в условиях высокотемпературного воздействия.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-79-00066)

Исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» (НГТУ).

Литература:

1. Калашникова Т. А., Чумаевский А. В., Филиппов А. В. Механические свойства стали 12Х18Н9Т, полученной методом электронно-лучевой наплавки // Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций. – 2018. – С. 154–154.
2. ASTM G 133-05. Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear. 2008. 9 p.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ $Al_{0,3}CoCrFe_{0,2}Ni$ С ДОБАВКОЙ КАРБИДА ХРОМА Cr_3C_2 , ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

А. Б. Юргин

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, a.yurgin@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Руктуев А. А., к.т.н., доцент

Исследовано влияние добавок карбида хрома Cr_3C_2 (5 и 10 вес. %) на фазовый состав и микроструктуру композиционных покрытий на основе высокоэнтропийного сплава $Al_{0,3}CoCrFe_{0,2}Ni$, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки на стальную подложку.

This study investigates the effect of chromium carbide additions (5–10 wt. %) on the phase composition and microstructure of composite coatings based on the $Al_{0,3}CoCrFeNi$ high-entropy alloy, clad with non-vacuum electron beam treatment onto a steel substrate.

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) на основе 3d-переходных металлов представляют собой перспективный класс материалов, интенсивно изучаемый в последние десятилетия. Одними из наиболее исследованных являются сплавы системы $Al_xCoCrFeNi$ [1, 2]. Актуальной задачей является повышение его прочностных характеристик и разработка методов формирования на его основе защитных покрытий [3]. Целью данной работы является исследование фазового состава и микроструктуры композиционных покрытий на основе сплава $Al_{0,3}CoCrFe_{0,2}Ni$ с добавкой 5 и 10 вес. % Cr_3C_2 , полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки.

Покрyтия получали из смеси порошков $NiAl$, Co , Cr , флюса CaF_2 и карбида хрома Cr_3C_2 . Порошковую смесь наносили на подложку из стали

20 с плотностью насыпки 0,8 г/см². Железо поступало в состав покрытия за счет плавления материала основы. Наплавку проводили на установке УНУ Стенд ЭЛВ-6 на базе промышленного ускорителя электронов (ИЯФ СО РАН).

Фазовый состав полученных покрытий исследовали методом дифракции синхротронного излучения. Установлено, что покрытие без карбидных частиц в составе порошковой смеси характеризуется однофазной ГЦК структурой. Введение 5 и 10 вес. % частиц Cr₃C₂ приводит к появлению на дифракционных картинах рефлексов, соответствующих фазе Cr₇C₃ с орторомбической кристаллической решеткой. Кроме того, с увеличением содержания карбидных частиц параметр решетки ГЦК-матрицы уменьшается с $3,573 \pm 0,005$ Å для исходного состава до $3,562 \pm 0,006$ Å и $3,553 \pm 0,003$ Å для покрытий с 5 и 10 вес. % Cr₃C₂ соответственно.

Исследование микроструктуры методами растровой (РЭМ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) подтвердило двухфазный состав покрытий и позволило оценить морфологию карбидной фазы. Кристаллы Cr₇C₃ формируются в виде пластин и игл длиной до 2-3 мкм. В поперечном сечении характеризуется равноосным строением с диаметром 100–200 нм.

Полученная микроструктура обеспечила прирост микротвердости покрытий. Введение 5 вес. % Cr₃C₂ приводит к увеличению микротвердости покрытия: с 277 ± 5 HV_{0,1} до 354 ± 5 HV_{0,1}. Повышение концентрации карбида хрома до 10 вес. % усиливает эффект, обеспечивая рост микротвердости до 455 ± 6 HV_{0,1}, что на 64 % превышает значение твердости для матричного сплава.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания FSUN-2024-0005 «Структурные преобразования в тонких поверхностных слоях металлических сплавов при экстремальном тепловом и деформационном воздействиях».

Микроструктурные исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» (НГТУ).

Литература:

1. Обзор исследований сплавов, разработанных на основе энтропийного подхода / З. Б. Батаева [и др.] // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2021. – Т. 23. – № 2. – С. 116-146. <https://doi.org/10.17212/1994-6309-2021-23.2-116-146>.

2. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys / B. Cantor [et al.] // Materials Science and Engineering: A. – 2004. – Vols. 375-377. – P. 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.257>.

3. The sliding wear behavior of CoCrFeMnNi and AlxCoCrFeNi high entropy alloys at elevated temperatures / J. Joseph [et al.] // Wear. – 2019. – Vols. 428-429. – P. 32-44. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.03.002>.

4. Структура и свойства композиционного покрытия на основе высокоэнтروпийного сплава, упрочненного частицами CrB / А. А. Руктуев [и др.] // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2023. – Т. 25. – № 3. – С. 87-103. <https://doi.org/10.17212/1994-6309-2023-25.3-87-103>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАВОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Д. Р. Саяров¹, В. В. Чернова¹, А. А. Псянчин¹

¹Уфимский университет науки и технологий

Г.Уфа, danis.sayarov@mail.ru

Научный руководитель: Псянчин А. А., к.х.н.

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) – один из самых востребованных полимеров. В процессе его производства образуются крупногабаритные технологические отходы (плавы), требующие переработки. Изучение свойств таких отходов необходимо для их эффективного рециклинга.

Polyethylene terephthalate (PET) is one of the most popular polymers. During its production, large-scale technological waste (melt) is generated, which requires recycling. Studying the properties of such waste is essential for its effective recycling.

Исследовать физико-механические и теплофизические свойства ПЭТ, полученного путем измельчения производственных плавов, для оценки потенциала их вторичного использования.

Исследовались 10 образцов, включая плавы первичного и вторичного ПЭТ 1-й и 2-й категорий, а также образцы коммерческого ПЭТ («Вивилен») и первичного ПЭТ для сравнения.

Плавы были измельчены до гранул (3-5 мм), высушены и отлиты под давлением в стандартные образцы для испытаний.

Механические свойства - Испытания на растяжение (ГОСТ 11262-2017) и статический изгиб (ГОСТ 4648-2014) на установке Shimadzu.

Ударная вязкость - Определялась по Шарпи и Изоду (ГОСТ 4647-2015).

Теплофизические свойства - Определение температуры деформационного прогиба, термомеханический анализ и дифференциальная сканирующая калориметрия. Механические свойства (растяжение и изгиб) - Большинство образцов плавов (№1, 2, 3, 5) демонстрируют высокие показатели прочности при растяжении и изгибе, сопоставимые с образцом первичного ПЭТ (№10).

Ударная вязкость - Наблюдается сильный разброс значений ударной вязкости между образцами от 925 Дж/м² до 56 369 Дж/м².

Наивысшие показатели демонстрируют образцы №3, №5 и №10, что говорит об их высокой стойкости к ударным нагрузкам.

Часть исследованных плавов (в частности, №1, 2, 3, 5) по ключевым механическим характеристикам не уступают первичному ПЭТ, что делает их пригодными для механической переработки и производства новых изделий.

Литература:

1.Трауготт Т. Д., Барлоу Дж. У., Пол Д. Р. Механическая компатибилизация смесей полиэтилена высокой плотности и полиэтилентерефталата // Journal of applied polymer science. – 1983. – Т. 28, № 9. – С. 2947-2959

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ШИРМЫ

Д. В. Войлошникова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, woilkdk@gmail.com**

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка декоративной ширмы, которая может служить не только функциональным элементом для зонирования пространства, но и украшением интерьера. Создание классической складной ширмы из дерева, где в качестве створок используются холсты, расписанные в едином стиле в технике, имитирующей гравюру, по мотивам японской мифологии.

The primary objective of this project is the development of a decorative screen designed to serve not only as a functional element for spatial partitioning but also as a significant interior aesthetic accent. This involves the fabrication of a classical folding wooden screen, wherein the individual panels are composed of canvases. These canvases will be meticulously painted in a cohesive style, employing a technique that emulates traditional engraving, with artistic motifs directly derived from Japanese mythology.

Декоративная ширма, как предмет мебели, обладает богатейшей историей, насчитывающей более двух тысячелетий, и ее эволюция напрямую связана с развитием интерьерной культуры и художественных стилей разных эпох и народов. Первые ширмы появились в Древнем Китае эпохи Хань, где они изначально выполняли сугубо утилитарную функцию защиты от сквозняков в просторных залах. Однако очень быстро они трансформировались в объекты высокого искусства, на которые наносилась каллиграфия и живопись тушью, отражавшие философские взгляды и эстетические идеалы того времени. Именно из Китая ширма была заимствована Японией, где стала неотъемлемым атрибутом традиционной архитектуры. Японские мастера довели искусство создания ширм до совершенства, используя их для зонирования гибкого внутреннего пространства, украшенного сдержанной и глубокой живописью на темы природы, знаменитых баталий или мифологических сюжетов, как в проектируемом изделии.

В Европу ширмы попали значительно позже, в XVII веке, через торговые пути с Востоком. Они мгновенно вошли в моду в эпоху Барокко и Рококо, но их функция и внешний вид кардинально изменились под влиянием западной эстетики. Вместо легких бамбуковых конструкций

европейские аристократы предпочли тяжелые, монументальные ширмы, обитые парчой, гобеленом или тисненой кожей. Они служили не только для создания интимных «кабинетов» и будуаров, но и для сокрытия каминов в летнее время или неуместных деталей обстановки. В XIX веке, с расцветом стиля Эклектика и появлением Модерна, ширма стала полем для смелых художественных экспериментов.

В современном дизайне интерьеров ширма также утвердила свою незаменимость. В мире, где все чаще ценятся открытые планировки и студии, остро встает проблема зонирования. Ширма же становится элегантным решением этой задачи. Ключевое преимущество — мобильность и временность. Таким образом, ширма дает контроль над своим личным пространством и возможность его быстрой трансформации. Но функциональность — лишь одна грань; сама по себе ширма является арт-объектом, акцентом, который способен задать стиль всему помещению.

Декоративный элемент с многовековой историей имеет различные варианты исполнения. Поэтому при создании дизайн-проекта первоочередной задачей был выбор тематики изделия. В контексте данного проекта обращение к форме ширмы является осознанным художественным жестом, отсылающим к этой долгой и многогранной истории. Она объединяет в себе восточную традицию, где ширма является носителем повествования, и европейский подход, рассматривающий ее как мощный акцентный элемент в интерьере.

Было решено сделать четырехстворчатую складную ширму, каждая створка которой представляет собой раму с натянутой хлопковой тканью, объединенных единой росписью. Габариты ширмы были взяты стандартные: 1,7 м в высоту на 2 м в ширину, с шириной каждой створки 0,5 м.

Роспись представляет собой целостную горизонтальную композицию, визуально объединённую четырьмя створками, изображающую стилизованного быка. Стилизованное исполнение позволяет избежать реалистичного изображения животного, вместо этого акцентируя внимание на его символическом значении и эстетических качествах. Бык в культуре различных народов часто олицетворяет силу, мощь и мужество. В данном контексте он может также символизировать устойчивость и защиту, что делает его особенно уместным для использования в интерьере.

Цветовая гамма иллюстрации ограничена, создавая гармоничное сочетание с каркасом ширмы. Использование нескольких основных цветов способствует созданию выразительного визуального эффекта, при этом не перегружая восприятие зрителя. Эти цвета могут быть выбраны

с учётом психологического воздействия на окружающее пространство, что усиливает эмоциональную атмосферу.

Основным материалом для каркаса было выбрано дерево. К деревянному каркасу будет прикреплен, а позже расписан холст, обеспечивающий прочную и удобную поверхность для детализированной росписи. Для соединения деревянных створок будут использованы металлические крепления, обеспечивающие надежность и долговечность конструкции.

Технологический процесс изготовления осуществляется следующими этапами:

- изготовление деревянного каркаса: распил, шлифовка, покрытие;
- сверление необходимых для соединения деталей отверстий;
- натяжка и грунтовка холста на подрамники;
- роспись холста;
- покрытие готовой росписи защитным лаком;
- соединение створок с помощью металлических шарнирных креплений.

Литература:

1. Григорьева О. В. Дизайн мебели: теория и практика. Москва: Архитектура-С, 2021. 312 с.
2. Кес Д. Стили в интерьере. Москва: Бератор, 2020. 288 с.
3. Мерцалов М. Н. История костюма и интерьера. Москва: Искусство, 2018. 480 с.
4. Федоров К. В. Техники и материалы в дизайне. Екатеринбург: Уральский рабочий, 2022. 194 с.
5. Виноградова Н. А. Искусство Китая. Москва: Слово, 2019. 432 с.
6. Hutt J. Japanese Design: Art, Aesthetics & Culture. Vermont: Tuttle Publishing, 2021. 128 p.
7. Jackson P. The Japanese Screen: A History. London: Thames & Hudson, 2020. 240 p.

РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕРЕГ С ФЛОРИСТИЧЕСКИМИ МОТИВАМИ И ВСТАВКАМИ ИЗ НАТУРАЛЬНОГО КАМНЯ

А. В. Гринь

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, woilkdk@gmail.com**

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка пары серег. Такие серьги могут стать как повседневным аксессуаром, так и акцентным предметом гардероба. Сочетание природных мотивов и форм с красотой и индивидуальностью натуральных камней придает оригинальность каждому изделию.

The project's goal is to design a pair of earrings. These earrings can be used as both an everyday accessory and a statement piece. The combination of natural motifs and shapes with the beauty and individuality of natural stones lends originality to each piece.

Серьги — это одно из самых древних и популярных украшений, которые использовались женщинами и мужчинами на протяжении тысячелетий. Их история восходит к древним цивилизациям, и каждая культура вносила свои уникальные элементы в дизайн и символику этого украшения. В XX веке серьги стали доступными для широкой публики благодаря массовому производству. Появление новых материалов, таких как пластик и стекло, позволило создавать серьги по более доступным ценам. Современные дизайнеры продолжают экспериментировать с формами, стилями и материалами, что делает серьги важной частью модной индустрии.

В рамках данного проекта задача создания дизайн-проекта пары серег была решена через выбор релевантной, технологически доступной и эстетически обоснованной методики изготовления. В процессе поиска художественного решения и формирования концепции был выделен ряд ключевых принципов: во-первых, произведена идентификация стилистического направления украшений — ретроспективный, утонченный стиль, находящийся в диалоге с актуальными трендами устойчивой моды и ценности ручного труда. Во-вторых, осуществлен выбор материалов — медь и натуральный камень, что обусловлено их тактильными и визуальными свойствами, а также символическим потенциалом. В-третьих, морфология и общий дизайн-код серег был разработан с целью обеспечения визуальной репрезентативности для подчеркивания эстетики природных мотивов.

В результате концептуализации был утвержден формальный образ серег в виде стилизованных четырехлепестковых соцветий. В данной морфологической конструкции верхние лепестки, имеющие нисходящую динамику, визуально обрамляют центральную вставку-сердцевину, в то время как нижние лепестки формируют устойчивое основание и задают направленную вниз вертикаль, а направленный вниз стебель завершает образ. Для усиления натуралистичности и придания поверхности декоративно-текстурного разнообразия на металлическую основу нанесена система бороздок, имитирующая природную структуру прожилок флористического прототипа. В качестве композиционного и колористического акцента используется кабошон из природного камня. Совокупность данных формальных приемов позволяет присвоить изделию устойчивый узнаваемый природный образ.

На этапе материализации проекта в качестве базового материала был избран медно-цинковый сплав Л63, обладающий оптимальными для ручной работы технологическими характеристиками. Для достижения требуемых эстетических и защитных свойств на сплав наносится гальваническое покрытие серебром. В результате финишной обработки изделие приобретает благородный серебристо-серый оттенок, выполняющий функцию нейтрального фона, который визуально контрастирует и тем самым идеально акцентирует колористическое решение вставки. Для инкрустации были выбраны камни в сине-голубой палитре, что ассоциативно связывает изделие с образами неба и воды.

Технологический маршрут изготовления ювелирного изделия включает в себя последовательность следующих этапов:

- проектирование и создание детализированных эскизов;
- выпилка контуров лепестков, нанесение фактуры (прожилок), скульптурно-пластическая обработка (гибка) для придания объема;
- пайка всех конструктивных деталей в единую композицию;
- закрепление кабошона;
- механическая полировка поверхности изделий для достижения заданной степени гладкости и блеска;
- серебрение для коррозионной стойкости и эстетики;
- верификация качества изделия и его последующая упаковка.

Таким образом, для создания данной пары серег был применен комплекс доступных и классических технологий ювелирного производства. Конечный продукт представляет собой оригинальные украшения с выраженной акцентной вставкой, функциональный потенциал которых не ограничивается ролью стилевого аксессуара, но простирается до возможности выражения индивидуальности носителя через вариативность цветовых решений. В силу применения методов

полностью ручного изготовления, каждое изделие приобретает статус уникального артефакта, подобного неповторимости природных феноменов, что служит его ключевой потребительской ценностью.

Литература:

1. Беннетт Д., Маскетти Д. Ювелирное искусство: иллюстрированный справочник по ювелирным украшениям. Москва: АРТ-РОДНИК, 2005. 356–480 с.

2. Эванс Дж. История ювелирного искусства. Москва: Центрполиграф, 1989. 25 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕКОРАТИВНОГО ИНТЕРЬЕРНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Д. С. Доброва

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, domnadomna.com@gmail.com**

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка декоративного интерьерного светильника, совмещающего современные тенденции со старинной техникой витража. Ключевой задачей стало переосмысление техники «Тиффани» с позиции современного дизайна, а также точный подбор материалов и технологии изготовления. Изучение методов производства декоративных светильников и витражной техники «Тиффани» позволило определить оптимальный дизайн, сочетание материалов и конструкцию готового изделия.

The aim of the project is to develop a technology for decorative interior lighting that combines the fashion of modern times and the old stained-glass technique. The primary objective was to reinterpret the old Tiffany technique with a fresh, contemporary design perspective, as well as to select the right materials and manufacturing technology for the lighting fixture. Researching decorative interior lighting manufacturing methods and Tiffany-stained glass technology enabled us to select the most appropriate design, material combination, and finished product construction.

Светильник выполняет одну из главных функций в доме — освещение помещений. В данном случае настольный светильник с витражными вставками сочетает практическую функциональность с эстетикой декоративного предмета интерьера, соответствующего современным трендам. Витражная техника «Тиффани» была создана примерно в конце XIX века талантливым ювелиром Луисом Комфортом Тиффани. Изделия, выполненные в этой технике, получили международное

признание и коммерческий успех. Использование медной фольги стало инновацией, позволившей мастерам достигать большей тонкости детализации по сравнению с массивным свинцовым переплетом. Однако со временем популярность этой техники в интерьере угасла из-за устаревшего дизайна. Тем не менее, её можно переосмыслить с современной точки зрения. Сочетание минималистичного стиля, геометрических форм и техники «Тиффани» превращает настольный светильник в футуристический декоративный объект, где витражная вставка служит отсылкой к прошлому.

Округлые формы конструкции светильника в сочетании с деревом создают ощущение безопасности, завершённости и природной естественности. Витражная часть выполнена в форме солнца, что подчёркивается мягкими тёплыми оттенками цветного стекла и свечением лампы.

Габариты изделия: высота — 320 мм, диаметр витражного элемента — 150 мм, ширина основания — 75 мм.

При выборе материалов были рассмотрены дерево, витражное стекло, медная фольга, припой, клей и светодиодная лента. Выбор бука обусловлен его универсальностью, эстетичным видом и прочностью. Для витража использовано стекло теплых оттенков: желтого, оранжевого, охристого и красного цветов. Оловянно-свинцовый припой ПОС-61 был выбран благодаря своим свойствам: высокое содержание олова (около 60%) позволяет вести пайку без перегрева конструкции. Также был выбран термостойкий клей ПВА D2, подходящий для работы с плотными породами дерева, включая бук. Светодиодная лента типа RGBW была выбрана за свою универсальность и простоту монтажа.

Технологический процесс изготовления декоративного светильника состоит из следующих этапов:

1. Разработка эскиза изделия и дизайн-проекта витражной мозаики.
2. Создание чертежа и управляющей программы (CAM) для фрезерования подставки.
3. Раскрой и обработка кромок витражного стекла по шаблонам.
4. Обмотка стеклянных элементов медной фольгой.
5. Фрезерование деревянной подставки на станке с ЧПУ.
6. Шлифовка, полировка и финишная отделка деревянной подставки.
7. Сборка и пайка витражного полотна.
8. Патинирование и финишная обработка витражных швов.
9. Монтаж светодиодной ленты внутри витража.
10. Финальная сборка: соединение деревянного основания и витражной части на клей.

В ходе работы были изучены технологии фрезерной обработки дерева и классическая витражная техника «Тиффани». Результатом проекта стало переосмысление устаревшей витражной техники в современном дизайне, что позволяет интегрировать её в актуальный интерьер, сохраняя уважение к традиции и историческому наследию.

Литература:

1. Константинов М. Т. Расчет программ фрезерования на станках с ЧПУ. Москва: Машиностроение, 1985. 157, [3] с.: ил.
2. Технология изготовления витражей в различной технике: методические указания к практической работе по дисциплине «Специальные технологии художественной обработки материалов» для студентов специальности «Технология художественной обработки материалов» / сост. Г. С. Дзюба, С. В. Дорофеев. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. 20 с. (Предполагаемый объем. Необходимо уточнить).
3. Кутин А. А. Методы обеспечения требуемой точности обработки сложных деталей с учетом технологических особенностей многокоординатного фрезерования / А. А. Кутин, В. В. Пирогов // Вестник машиностроения. 2007. № 9. С. 29–34.
4. Бук: характеристики древесины и ее применение [Электронный ресурс]. — URL: <https://zawood.ru/buk-kharakteristiki-drevesiny-i-ee-primenenie/?ysclid=mik1pozmbm498909451> (дата обращения: 19.11.2025).
5. Виды и характеристики светодиодных лент [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedomo.ru/article/vidy-i-harakteristiki-svetodiodnyh-lent/> (дата обращения: 27.11.2025).
6. Чем отличаются типы клея с маркировкой D2, D3, D4 [Электронный ресурс]. — URL: <https://wood66.ru/faq/bond-d2-d3-d4/?ysclid=mik1n6xamc603307723> (дата обращения: 20.11.2025).

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ПОДСТАВКА ДЛЯ БЛАГОВОНИЙ «СТРАНА ЧУДЕС»

Е. А. Зозуля

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zozulya2000@mail.ru

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

В современном мире, ориентированном на осознанность и создание уюта, растет спрос на ароматерапевтические аксессуары. После изучения рыночных аналогов были разработаны эскизы. Основой концепции выбранного образа стал персонаж Синяя Гусеница из произведения Л. Кэрролла; также были определены материал и технология изготовления декоративной подставки.

In the modern world, focused on mindfulness and creating coziness, the demand for aromatherapy accessories is growing. After studying the analogues of such products, sketches were developed. The concept of the chosen image was based on the character of the Blue Caterpillar from L. Carroll's work, and the material and technology for making a decorative stand were also chosen.

Для проекта выбрана подставка в виде Синей Гусеницы, сидящей на грибе. «Алиса в Стране чудес» — вечная классика, произведение, не теряющее популярности на протяжении десятилетий. Его образы узнаваемы и любимы разными поколениями по всему миру. Эстетика сюрреализма, гротеска и загадочности, присущая книге, полностью соответствует современным трендам в дизайне интерьеров и аксессуаров [3]. Сочетание основной функции ароматерапии с визуальным эффектом стелющегося дыма создает уникальный атмосферный аксессуар. Кроме того, яркий и фотогеничный образ Синей Гусеницы с «магическим» эффектом дыма обладает высоким потенциалом стать вирусным и привлечь внимание в социальных сетях. Стоит отметить, что в эпоху массового производства вещи с художественным замыслом, созданные вручную, ценятся особенно высоко и подчеркивают индивидуальность владельца [5].

Основная задача данного дизайн-проекта — создать не просто интерьерную скульптуру малых форм, а функциональную подставку для благовоний «стелющийся дым» (backflow incense holder).

Принцип работы «стелющегося дыма»: эффект достигается с помощью специальных конусных благовоний с полой сердцевинкой. Дым от них тяжелее воздуха и под действием тяги стекает вниз. Для этого внутри подставки должен быть проложен незаметный канал, направляющий дым от основания конуса в нужную точку — от шляпы гриба до трубки Гусеницы.

Образ Синей Гусеницы [2] был взят за основу концепции неслучайно. Ключевые детали персонажа — длинное сегментированное тело, «важный» вид и кальян (или трубка). Для проекта было принято решение использовать трубку. Были разработаны эскизы, которые наиболее эффектно подчеркивали пластику скульптуры и конструктивно подходили для практического использования изделия. Дымовой канал проходит от шляпы гриба (место установки благовония) до рта Гусеницы.

После выбора оптимального варианта эскиза встал вопрос о материалах и технологии изготовления. В результате была выбрана технология шликерного литья. Это метод производства керамических изделий путем заливки жидкой глиняной массы (шликера) в пористую (чаще всего гипсовую) форму. Гипс впитывает воду, и на стенках формы остается слой глины, который затем извлекают и обжигают. Этот метод подходит для массового и мелкосерийного производства, позволяя получать изделия сложной формы с высокой точностью детализации. Шликерное литье активно применяется как на крупных производствах, так и в небольших мастерских для изготовления самой разной продукции: от толстостенной керамики до изящного фарфора. К его преимуществам относятся:

1. Высокая детализация: глина, оседая на гипсе, точно воспроизводит мельчайшие элементы формы, что недостижимо при ручной лепке или работе на гончарном круге.
2. Универсальность: метод позволяет создавать как крупногабаритные, так и миниатюрные предметы.
3. Экономичность материала: часто расходуется меньше сырья по сравнению с другими техниками.
4. Возможность тиражирования: одна гипсовая форма может быть использована для производства серии идентичных изделий [1, 6].

Технология изготовления включает использование беложгущейся керамической массы (шликера), гипса для литья (марка Г-6 – Г-10), дефлокулянта (жидкое стекло или кальцинированная сода) и керамических глазурей (синяя, золотая, дополнительные цвета). Для формирования дымового канала в форме размещается восковая нить диаметром 3–4 мм, которая выгорает при обжиге [1]. Процесс состоит из следующих этапов:

1. Подготовка шликера и изготовление гипсовой формы.
2. Заливка шликера в форму, выдержка, извлечение отливки и её доработка.
3. Удельный (первый) обжиг.
4. Глазурирование.

5. Политой (глазурный) обжиг.
6. Контроль качества готового изделия.

Литература:

1. Джонсон П. Технология керамики: материалы, методы, проектирование. Москва: Арт-Родник, 2008. 160 с. ISBN 978-5-9794-0135-2.
2. Кэрролл Л. Алиса в Стране чудес / пер. с англ. Н. Демуровой. Москва: Эксмо, 2021. 144 с. ISBN 978-5-699-34567-8.
3. Самородский А. С., Лебедева Е. В. Основы дизайна и проектирования изделий из глины: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2019. 208 с. ISBN 978-5-8114-4501-2.
4. Стивенс П. Энциклопедия керамики. Москва: АСТ, 2010. 256 с. ISBN 978-5-17-067417-6.
5. Ткач В. И. Тенденции развития сувенирного рынка в контексте современной культуры // Культура и искусство. 2022. № 3 (45). С. 15–23.
6. Шликерное литье керамики: технология и особенности // Крути-Верти [Электронный ресурс]. URL: <https://krutiverti.pro/technology/shlikernoye-lite-keramiki.html>.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ СТОЛА ДЛЯ ИГРЫ «МОРСКОЙ БОЙ»

И. А. Кияшев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kadl23@yandex.ru**

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью работы является разработка проекта тематического столика для игры в «Морской бой». В процессе проектирования использовался матричный метод, позволивший создать и сравнить несколько вариантов эскизов. Результатом работы стал готовый дизайн-проект и подробная технология изготовления стола.

The goal of this project was to develop a table for playing "Battleship." A matrix design method was used, with several sketches were developed, and the most successful one was selected. The result is the design project and manufacturing technology for this themed table.

В современную эпоху цифровизации вновь растет популярность тактильных настольных игр как формы живого социального взаимодействия. Такие игры, как «Морской бой», остаются вечной классикой, о чем свидетельствует множество их мобильных и

компьютерных адаптаций. Однако физические версии этой игры зачастую лишены продуманного дизайна и художественной ценности, ограничиваясь минималистичными пластиковыми кейсами. Параллельно на рынке растет спрос на уникальные предметы интерьера ручной работы. Данный проект соединяет эти две тенденции, трансформируя классическую игру в многофункциональный арт-объект, который выполняет следующие функции:

1. Игровая: обеспечение тактильно приятного и эстетичного игрового процесса.
2. Декоративная: роль акцентного элемента интерьера, привлекающего внимание.
3. Эмоциональная: создание особой атмосферы через тематическое воплощение.

Таким образом, разработка дизайнерского стола для «Морского боя» является актуальной задачей, отвечающей запросам на персонализацию и высокое качество предметной среды.

Первым этапом работы стало создание дизайн-концепции. Для генерации идей был применен матричный метод, который позволяет, комбинируя различные варианты ключевых элементов (столешница, ножки), быстро получить широкий спектр эскизов. Было разработано по четыре варианта столешниц и ножек, что дало 16 концептуальных решений. В результате анализа на соответствие тематике игры и общей атмосфере был выбран оптимальный вариант, легший в основу финального проекта (Рисунок 1).



Рис. 1 – Финальный эскиз стола

Следующим этапом стала проработка эргономики и габаритов изделия (Рисунок 2). Основной задачей было обеспечить комфорт игры и гарантировать сокрытие поля противника перегородкой. Были определены ключевые размеры:

Столешница: эллиптическая, с осями 800 мм и 600 мм.

Высота стола: 750 мм от пола до игровой поверхности.

Толщина столешницы: 200 мм.

Высота перегородки: 200 мм.

Эргономический расчет выполнен для человека ростом 175 см. При сидении на пуфике высотой 400 мм (оптимальная высота для данной игры) линия зрения находится на высоте ~1200 мм от пола, что обеспечивает полный обзор своего поля и надежно скрывает поле соперника за перегородкой.

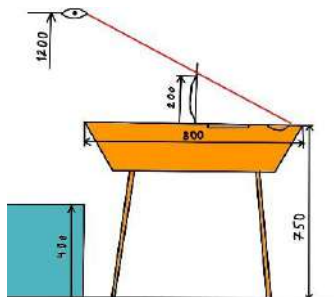


Рис. 2 – Габаритные размеры стола, мм

На основе утвержденной концепции была разработана детальная технология изготовления, разбитая на три основных этапа.

1. Изготовление каркаса и основания (Рисунок 3).

Ножки и элементы каркаса гнутся из стальных труб диаметром 30 мм.

Основание (каркас столешницы и перегородки) сваривается из подготовленных труб и элементов, вырезанных лазером из листового металла. Конструкция включает пазы для точной сборки и пластины для крепления выдвижных ящиков.

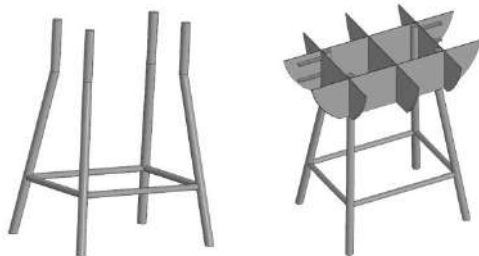


Рис. 3 – Первый этап изготовления изделия

2. Формирование корпуса и декора (Рисунок 4).

Из пеноплекса склеивается массивная заготовка, на станке с ЧПУ из которой фрезеруется матрица (форма) для корпуса.

Методом ручной выкладки на матрицу наносится стекломат, пропитанный эпоксидной смолой, для создания прочного композитного корпуса. Этим же методом изготавливаются выдвижные ящики.

На поверхности корпуса моделируются декоративные элементы (шпаклевкой), после чего она грунтуется и окрашивается с эффектом «под дерево».

Верхняя часть столешницы заливается эпоксидной смолой с созданием тематической диорамы.

На станке с ЧПУ в застывшей столешнице фрезеруются гнезда для фишек и игровых полей.

Дополнительные элементы (фишки, поля, фурнитура) изготавливаются на 3D-принтере, деревянные мачты — традиционной столярной обработкой. Тканевый парус с вышивкой служит перегородкой.

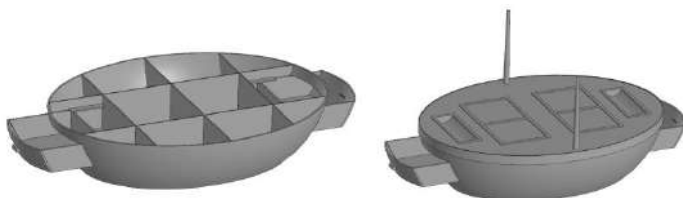


Рис. 4 – Второй этап изготовления изделия

3. Финальная сборка и отделка (Рисунок 5).

Происходит сборка всех компонентов: установка корпуса на металлическое основание, монтаж выдвижных ящиков, мачт и паруса.

Борта корпуса обрамляются металлической полосой.

Выполняется финальная проверка качества и декоративная доводка.



Рис. 5 – Проект готового изделия в сборке

В ходе работы был проведен анализ рынка, с помощью матричного метода разработан ряд концепций, выбрана и детализирована наилучшая из них, а также создана комплексная технология изготовления тематического игрового стола, сочетающего функциональность, эргономику и высокую художественную ценность.

Литература:

1. Гуляев А. П. Металловедение: учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. Москва: Металлургия, 1986. 544 с.
2. Какую мебель изготавливают из эпоксидной смолы, как она выглядит [Электронный ресурс] // PractECO.ru: Творчество из эпоксидной смолы. — URL: <https://practeco.ru/izdeliya/mebel-iz-epoksidnoj-smoly.html> (дата обращения: 12.11.2025).

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЬЦА «ПОЦЕЛУЙЧИК» В ВИДЕ ДВУХ ВОРОНОВ

Ю. А. Егорова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, elizabet190804@mail.ru**

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка кольца «поцелуйчик» в виде двух воронов, пригодного для повседневной носки. Основными задачами стали поиск оптимальной формы, а также выбор материалов и технологии изготовления.

The objective of this project is to design a raven-shaped ring suitable for everyday wear. The primary tasks of this work involved identifying the optimal shape for the ring, as well as selecting appropriate materials and manufacturing technologies.

Кольцо с древнейших времен является не только украшением, но и многофункциональным предметом. Само слово происходит от старославянского «коло» (колесо). В древности кольца служили универсальной мерой стоимости — их изготавливали из золота, серебра, меди или железа и клеймили, что позволяло определить вес металла. Помимо этого, кольца использовались как профессиональные инструменты (например, у сапожников или лучников), личные печати, тайники, удостоверения личности, а также религиозные символы. Такое разнообразие функций отражает удивительную историю этого аксессуара и обилие технологий его изготовления.

При создании кольца «поцелуйчик» в виде двух воронов первоочередной задачей был выбор формы. В результате поисковых исследований были выделены ключевые концепции. Был выбран тип кольца — «поцелуйчик». Эти кольца, появившиеся в 1950-х годах, быстро стали не просто модным аксессуаром, а символом целого поколения. Анализ аналогов подсказал идею трансформировать классические шарообразные элементы этого украшения в стилизованные фигуры двух воронов. Ворон в мифологии и культуре — символ мудрости, долголетия, тайны и трансформации. Эти образы отражают сложность и изменчивость жизни, что добавляет изделию глубокий смысл.

Материалом для изготовления был выбран нейзильбер. Этот сплав обладает благородным серебристым оттенком, высокой износостойкостью и, в отличие от некоторых других сплавов меди, не оставляет следов на коже. Эти свойства делают его идеальным для ювелирных изделий, предназначенных для ежедневного ношения.

Технологический процесс изготовления кольца включает следующие этапы:

Эскизирование и 3D-моделирование: создание и доработка эскиза, разработка цифровой мастер-модели в программе для 3D-моделирования.

1. Создание резиновой пресс-формы по мастер-модели, отливка восковых моделей.

2. Подготовка литниковой системы, формовка восковок в опоку, выплавление воска и заливка металла.

3. Удаление литников, черновая и чистовая шлифовка, полировка до зеркального блеска.

Таким образом, в ходе проекта были применены традиционные и современные технологии ювелирного производства. Результатом стало оригинальное кольцо, которое сочетает повседневную функциональность с глубокой символикой, отсылая к мудрости предков и идее личной трансформации.

Литература:

1. Борейко В. Е., Грищенко В. Н. Экологические традиции, поверья, религиозные воззрения славянских и других народов. Т. 2. Птицы. Киев: Киевский эколого-культурный центр; Москва: Центр охраны дикой природы, 1999. 172 с. ISBN 966-95302-5-3.

2. Мухина П. Е., Щекин А. В. Использование нейзильбера в изготовлении ювелирных изделий // Молодежь и XXI век — 2022: материалы 12-й Международной молодежной научной конференции: в 4 т. / отв. ред. М. С. Разумов. Курск, 2022. С. 140–142.

3. Ткаченко С. С., Емельянов В. О., Мартынов К. В. Современная технология литья по выплавляемым моделям для производства художественных отливок // Литье и металлургия. 2021. № 1. С. 49–52.

4. Ткаченко С. С., Емельянов В. О., Мартынов К. В. Современные материалы и технологии в производстве художественного литья // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 78–81.

5. Любименко А. И. Развитие стиля ювелирных украшений мастеров Ленинграда в 50-90 годы XX века // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2018. № 3. С. 225–234.

РАЗРАБОТКА АРТ-ОБЪЕКТА В ИНТЕРЬЕРЕ НА ОСНОВЕ АРАХНОМОРФНЫХ МОТИВОВ

С. В. Койнова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, koynovas04@mail.ru**

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка декоративного светильника-скульптуры, вдохновленного формой и расцветкой паукообразных. Дизайн основан на сочетании литой бронзовой формы, техники витража Тиффани и цветной эмали.

The aim of the project is to develop a decorative lamp that can complement the interior. The design of the lamp was inspired by the species of insects and spiders. The design is based on the transfer of the shape of the spider, its color pattern using casting technology and Tiffany's technique.

Свет играет ключевую роль в формировании атмосферы и восприятии пространства, выступая одновременно функциональным элементом и выразительным средством декора. Многообразие технологий изготовления светильников открывает широкие возможности для творчества. Поэтому начальным этапом работы стало сужение темы и определение концепции. В процессе были сформулированы три основополагающих принципа:

1. Образная основа: стилизация под мир насекомых и паукообразных, чья сложная морфология представляет богатый материал для дизайна.
2. Материальное решение: сочетание бронзы, цветной эмали и витражного стекла.
3. Формальная задача: создание узнаваемого, но лаконичного силуэта, который органично впишется в современные интерьеры.

На основании этих принципов и после разработки эскизов было принято решение о создании литого светильника из бронзы с декоративными вставками из витражного стекла (техника Тиффани) и участками, покрытыми цветной эмалью.

Анализ аналогов и технологий показал, что светильники в сходной эстетике чаще всего выполняются из металла с использованием витражного стекла, что подтвердило корректность выбранного направления.

В процессе детальной проработки были определены основные параметры изделия. Плафон, стилизованный под брюшко паука, имеет форму додекаэдра диаметром 20 см. Источник света (патрон) расположен

в его нижней части, что обеспечивает нижнюю подсветку и удобный вывод электрического кабеля.

Основным материалом каркаса выбрана бронза. Ее теплый оттенок и благородный матовый блеск служат идеальным фоном для декора: цветная эмаль на «голове» паука становится более выразительной, а витражное стекло «брюшка», выполненное в технике Тиффани, приобретает дополнительную яркость и глубину.

Цветовая палитра эмали и стекла ограничена тремя чистыми цветами — синим, красным и желтым. Такой подход позволяет достичь высокой декоративности, сохранив визуальную ясность композиции и избежав перегруженности деталями.

Литература:

1. Витражная техника Тиффани [Электронный ресурс] // Vpechatleniya [сайт]. — URL: <https://vpechatleniya.ru/about-gifts/blog/vitrazh-v-tekhnike-tiffani/> (дата обращения: 04.12.2025).

2. История светильников: от факела до светодиода [Электронный ресурс] // Msveta [сайт]. — URL: <https://www.msveta.ru/advices/istoriya-svetilnikov-ot-fakela-do-svetodioda.html> (дата обращения: 04.12.2025).

3. Техника художественной эмали, чеканки иковки: учебное пособие / А. В. Флеров, М. Т. Демина, А. Н. Елизаров, Ю. А. Шеманов. М.: Высшая школа, 1986. 191 с.

РАЗРАБОТКА ПОЛОЙ ЮВЕЛИРНОЙ СЕРЬГИ В АНИМАЛИСТИЧЕСКОМ СТИЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНИКИ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ И ЧЕРНЕНИЯ СЕРЕБРА

П. А. Крайнова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, krainovapolina2004@gmail.ru**

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка металлической серьги-скульптуры, универсальной для различных образов. Украшение выполнено в виде головы агрессивной собаки. Ключевой технологической особенностью является применение гальванопластики (электролитическое формование), позволяющей создать лёгкую пустотелую конструкцию.

The aim of this project is to develop a metal earring designed to be a versatile accessory suitable for any style. The earring is crafted in the shape of an angry dog's head. Its distinctive feature lies in the manufacturing technique — it will be produced using electroforming (a hollow construction method).

Серьга — один из древнейших и самых популярных видов украшений для всех гендеров, отличающийся колоссальным разнообразием форм, размеров и конструктивных решений.

В результате проектирования была утверждена концепция: серьга с итальянским замком, изображающая голову агрессивной собаки из чёрного серебра, изготовленная методом гальванопластики, с инкрустацией огранённых рубинов в качестве глаз.

Выбор технологии и материалов

В рамках исследования были проанализированы различные аналоги и технологии. Гальванопластика, иногда называемая техникой «дутого серебра», была выбрана по следующим причинам:

1. Лёгкость при крупных размерах: технология позволяет создавать крупногабаритные, но лёгкие изделия, что критически важно для комфортной ежедневной носки.

2. Экономия материала: формирование пустотелой конструкции минимизирует расход дорогостоящего металла (серебра), снижая себестоимость по сравнению с цельнолитыми изделиями.

В отличие от гальванического покрытия, при гальванопластике на токопроводящую матрицу (например, восковую модель, покрытую токопроводящей краской) электрохимически наращивается толстый, самостоятельный слой металла. После наращивания матрица удаляется (например, выплавляется), оставляя точную металлическую копию.

Конструкция крепления

Для усиления экспрессии образа было решено обыграть механизм застёжки. Выбран итальянский замок (швенза), имитирующий момент, когда собака «прокусывает» мочку уха. Нижняя часть морды (подвижная швенза) фиксируется в верхней (неподвижной части со штифтом), создавая динамичный и концептуальный элемент дизайна.

Отделка и инкрустация

В качестве основного материала выбрано чёрное серебро. Для получения характерного тёмно-серого цвета на поверхность серебряной заготовки наносится чернь (специальный сплав на основе серебра, меди, свинца и серы) с последующим нагреванием для протекания химической реакции и формирования стойкого декоративно-защитного слоя.

В глаза «собаки» инкрустированы огранённые рубины. Огранка специально подобрана для имитации зрачка. Для их крепления используется крапановая закрепка (каст), когда камень удерживается несколькими металлическими «лапками». Этот метод обеспечивает максимальную игру света в камне, раскрывая все преимущества выбранной огранки.

Литература:

1. Авадьева Е. А. Огранка драгоценных и поделочных камней. Москва: Наука, 2005. 180 с.
2. Куманин В. И. Материалы для ювелирных изделий. Москва: Металлургия, 1988. 208 с.
3. Садаков Г. А. Гальванопластика. Москва: Машиностроение, 1984. 208 с.
4. Халилов И. Х. Гальванопластика для ювелиров. Москва: Машиностроение, 1988. 192 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЕКТА СРЕДОВОГО ДИЗАЙНА

М. А. Кривенко

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, marie.krivenko21@gmail.com

Научный руководитель: Ложкина Е. А., к.т.н.

Целью работы является разработка технологии изготовления объекта средового дизайна, вдохновленного образом плачущего Святого. Ключевыми задачами стали: 1) формирование художественного образа и пластического решения объекта; 2) выбор материала и технологии, оптимально соответствующих замыслу и условиям эксплуатации (в т.ч. уличной среде); 3) проведение сравнительного анализа технологий для обоснования итогового выбора.

The aim of the work is to develop a manufacturing technology for an environmental design object inspired by the image of the Weeping Saint. The key objectives were: 1) shaping the artistic image and plastic solution of the object; 2) selecting a material and technology optimally suited to the design concept and operating conditions (including an outdoor environment); 3) conducting a comparative analysis of technologies to justify the final choice.

Дизайн среды (средовой дизайн) — это комплексная проектная дисциплина, направленная на формирование и преобразование окружающего человека пространства, синтезирующая принципы архитектуры, скульптуры, живописи и прикладного искусства. В рамках данной работы объектом проектирования является скульптурная композиция с интегрированным природным элементом — цветочной флористикой. Такой синтез создает объект «цветочной скульптуры», где живая растительность становится неотъемлемой частью художественного высказывания.

Художественный замысел основан на тематике мистики и сакрального. Финальная концепция, отобранная по результатам эскизирования, представляет собой фигуру плачущего святого в плаще с капюшоном. Его поза (взгляд, устремленный в небо, раскинутые руки) выражает глубокую эмоцию. Ключевая метафора — кровавые слезы, стекающие из глаз и прорастающие у основания скульптуры в ярко-красные цветы. Композицию завершает крупный круглый элемент (арка или нимб) позади фигуры, также оплетенный растительностью, что усиливает связь объекта с плоскостью стены и создает целостный образ.

Сравнительный анализ аналогов и технологий показал, что для монументальных объектов средового дизайна, предназначенных для внешней среды, традиционно используются камень, металл, дерево и бетон. Для реализации данного проекта в качестве основного материала был выбран архитектурный (декоративный) бетон. Этот выбор обусловлен уникальным сочетанием свойств, критически важных для проекта:

- Высокая пластичность и детализация: позволяет создавать сложные объемно-пространственные формы, тщательно прорабатывать анатомические детали, динамичные складки ткани и мелкий рельеф.

- Предельная прочность и долговечность: обеспечивает структурную целостность и несущую способность крупного объекта, устойчивость к статическим и динамическим нагрузкам (давление, ветер).

- Устойчивость к воздействию внешней среды: влагонепроницаемость, морозостойкость, инертность к ультрафиолетовому излучению гарантируют сохранность объекта при круглогодичной эксплуатации на открытом воздухе.

- Широкие декоративные возможности: материал допускает объемное окрашивание, поверхностное тонирование, создание разнообразных фактур и правдоподобную имитацию других материалов (мрамора, патинированной бронзы, песчаника).

- Технологическая и экономическая эффективность: относительная доступность материала и возможность изготовления как в мастерской, так и непосредственно на месте установки.

Процесс создания скульптуры реализуется в несколько последовательных этапов:

1. Изготовление армированного каркаса

Из стальной арматуры формируется и сваривается пространственный каркас, точно соответствующий внутреннему контуру и несущей структуре будущей скульптуры. Каркас обтягивается мелкоячеистой металлической сеткой, которая служит основой для адгезии бетонной смеси. Если композиция предполагает слияние со стенами, сетка

монтируется и на ее поверхность для создания единой конструктивной основы.

2. Формование и лепка

На подготовленный каркас послойно наносится раствор архитектурного бетона. Первые слои формируют основной объем, последующие, более пластичные смеси используются для детальной лепки: моделирования черт лица, кистей рук, сложной драпировки плаща, рельефа «слез» и архитектурных переходов. Этот этап требует высокой квалификации мастера-лепщика.

3. Финальная отделка и декорирование

После набора бетоном первичной прочности выполняется финишная обработка: поверхность шлифуется, прорабатывается фактура, а затем методами ручной росписи, лессировки или аэрографии создается сложный цветовой образ, от реалистичной телесной окраски до драматичных контрастов плаща и акцентов кроваво-красного цвета. При необходимости на изделие наносятся защитные составы.

4. Интеграция растительного компонента

На завершающем этапе в специально предусмотренные и подготовленные емкости или технологические полости в самой скульптуре (у основания, в области круглого элемента) высаживаются живые красные цветы. Растительность является органичной частью художественного замысла, символически завершая нарратив композиции.

В результате работы был разработан детальный дизайн-проект объекта средового дизайна, представляющий собой синтез монументальной бетонной скульптуры и живой флористики. Выбор архитектурного бетона и техники ручной лепки был всесторонне обоснован как оптимальный для воплощения глубокого художественного замысла, обеспечения долговечности и создания эмоционально насыщенного объекта, интегрированного в окружающую среду.

Литература:

1. Василик Е. С. Академическая скульптура: электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2020. 1 эл. опт. диск (CD-ROM). (Объем дан в печ. эквиваленте: 77 с.)
2. Шимко В. Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование. Основы теории (средовой подход). Москва: Архитектура-С, 2009. 408 с.: ил.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКТА ЮВЕЛИРНЫХ УКРАШЕНИЙ «ЛУННАЯ ВОЛНЯНКА»

В. В. Ларионова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск veronika24lar@gmail.com**

Научный руководитель: Ю. В. Веселова к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка комплекта ювелирных украшений (колье и серьги-пусеты), объединенных художественным образом мотылька. Ключевыми задачами стали формирование пластического решения, выбор материалов и определение оптимальной технологии изготовления.

The project's goal is to create a set of jewelry consisting of a necklace and a pair of earrings. The main task of the work is to select images, search for forms and artistic solutions for the product, and choose suitable materials and manufacturing techniques.

Дизайн ювелирных украшений выходит за рамки декоративности, являясь средством самовыражения и формирования индивидуального стиля. В основе данного проекта лежит глубокий символизм образа мотылька — существа, олицетворяющего трансформацию, личностный рост и таинственное стремление к свету. Подобно метаморфозе мотылька, украшения призваны стать символами внутреннего изменения и изящной стойкости.

Комплект включает классические и универсальные виды украшений: кольцо и пару серег-пусет (Рисунок 1). Эти формы, обладая многовековой историей, остаются актуальными, что обеспечивает проектируемым изделиям вневременную эстетику и широкие возможности для носки.



Рис. 1 – Эскиз изделия

Основным материалом для изготовления выбрано серебро 925 пробы. Данный выбор обусловлен его благородным внешним видом, долговечностью и устойчивостью к окислению при повседневной носке, в отличие от многих сплавов, используемых в бижутерии.

Проведенный анализ технологий ювелирного производства (литье,ковка, гальванопластика и др.) показал, что для реализации замысла оптимальным является метод литья по выплавляемым моделям (ЛВМ). Эта технология гарантирует:

1. Высокую точность воспроизведения сложных, детализированных форм.
2. Идеальное качество поверхности отливки, минимизирующее последующую механическую обработку.
3. Возможность серийного воспроизведения изделий.

Для цветового и фактурного решения выбрана техника горячей эмали в контрастной гамме черного и белого цветов. Эта палитра гармонично сочетается с серебром, усиливает графичность образа мотылька и обеспечивает прочное, стойкое к внешним воздействиям глянцевое покрытие. В качестве акцентных элементов изделия будут инкрустированы лунными камнями, чье мерцание дополнит символику ночного света и тайны, заложенную в образе.

В результате проведенной работы был разработан целостный дизайн-проект ювелирного комплекта, основанный на глубокой символической концепции. Все решения — от пластики форм до выбора серебра, технологии литья по выплавляемым моделям, горячей эмали и инкрустации лунным камнем — подчинены единой художественной задаче: созданию эстетически совершенных и содержательных украшений, способных стать выразительным акцентом в образе.

Литература:

1. Декоративная отделка ювелирных изделий / Джинкс Макграс; пер. с англ. А. Степанова. Москва: Арт-Родник, 2012. 128 с.: ил.
2. Искусство эмали в современных украшениях [Электронный ресурс] // Ремикс 1992: сайт. — URL: https://remixgold.ru/news/useful/iskusstvo-emi-v-sovremennykh-ukrasheniyakh/?srsltid=AfmBOonOXt_lEuItV7ze76pZry4b3vHYiTdGeWwa935jjadCpQtBFb (дата обращения: 01.11.2025).
3. Моль – значение и эскизы [Электронный ресурс] // Barb: сайт. — URL: <https://barb.pro/ru/photos/tattoo/moth> (дата обращения: 08.11.2025).
4. Серьги: история украшения, современные разновидности и материалы [Электронный ресурс] // BeadsTree: фурнитура для бижутерии: сайт. — URL: <https://beadstree.ru/article/sergi-raznovidnosti-i>

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РАСКЛАДНОГО СТОЛА ДЛЯ НАСТОЛЬНЫХ ИГР НА ТЕМАТИКУ «DUNGEONS & DRAGONS»

Д. Ю. Плотников

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, plot2004@mail.com**

Научный руководитель: Ю. В. Веселова к.п.н., доцент

Целью работы является проектирование и разработка технологии изготовления специализированного раскладного стола для настольных игр. Актуальность задачи обусловлена растущей популярностью хобби, увеличением размеров игровых комплектов и дефицитом пространства в современных жилищах. В рамках проекта проведены исследования, выполнен сравнительный анализ аналогов и материалов, а также определена оптимальная производственная технология.

The aim of the work is to design and develop a manufacturing technology for a specialized folding table for board games. The relevance of the task is driven by the growing popularity of the hobby, the increasing size of game sets, and the limited space in modern dwellings. As part of the project, research was conducted, a comparative analysis of analogues and materials was performed, and the optimal production technology was determined.

Настольные игры — многовековая культурная традиция, эволюционировавшая от ритуальных практик (древнеегипетский Сенет) до массового развлечения (европейская игра «Гусь»). Исторически игры проводились в специально отведенных пространствах — от таверн до дворцов. В современных условиях местом для игры чаще всего становится жилое пространство, где остро ощущается нехватка площади для комфортного размещения игроков и зачастую масштабных реквизитов. Специализированный стол решает эту проблему, предоставляя:

1. Оптимизированную игровую поверхность.
2. Систему хранения компонентов.
3. Дополнительный функционал, повышающий погружение.

В качестве художественной и смысловой основы для дизайна выбрана эстетика культовой ролевой игры «Dungeons & Dragons». Такой подход позволяет создать не просто мебель, а атмосферный объект, усиливающий игровой опыт. Стол проектируется как раскладной

(трансформируемый), что сохраняет его функциональность в условиях ограниченного пространства.

Конструктивно стол состоит из двух основных узлов: столешницы и опорного каркаса (ножек), что определяет комбинированный подход к выборке материалов и технологий.

1. Столешница

Изготавливается из массива бука, выбранного благодаря прочности, стабильности, износостойкости и отличной обрабатываемости на станках с ЧПУ. Технологический процесс включает раскрой, фрезерование на ЧПУ (создание углублений для игроков, отверстий под фурнитуру, динамики и разъемы), сборку в единый щит, финишную шлифовку и полировку с последующим нанесением защитно-декоративного покрытия. Столешница оснащается светодиодной подсветкой, площадками для беспроводной зарядки и встраиваемыми акустическими системами.

2. Опорный каркас (ножки)

Выполняется из стального квадратного профиля (труба 40×40 мм, стенка 4 мм, сталь Ст3). После разрезки профиля на заготовки производится сборка и электродуговая сварка каркаса, затем зачистка и шлифовка швов с последующим нанесением прочного полимерно-порошкового покрытия для защиты и эстетики.

3. Финальная сборка

Деревянная столешница соединяется с металлическим каркасом на разъемных болтовых соединениях, что обеспечивает надежность, ремонтпригодность и возможность разборки для транспортировки.

В результате работы разработан комплексный проект тематического раскладного игрового стола. Концепция, основанная на вселенной «Dungeons & Dragons», призвана удовлетворить не только утилитарные потребности (экономия пространства, организация хранения), но и эмоциональные запросы игроков. Технологическая часть проекта демонстрирует продуманное сочетание традиционных материалов (бук, сталь) с современными методами обработки (ЧПУ) и современными функциями (подсветка, аудиосистема, зарядка), что позволяет создать конкурентоспособный продукт для растущего рынка.

Литература:

1. Анализ рынка настольных игр [Электронный ресурс] // Talk-on.ru.
— URL: https://talk-on.ru/materials/talkovosti/Ot_bochonka_do_serpa_Pochemu_nastolnye_igry_tak_populyarny/ (дата обращения: 01.11.2025).

2. Выбор материала [Электронный ресурс] // Deco-mollis.ru. — URL: <https://deco-mollis.ru/products/stol-dlya-nastolnykh-igr-italyanskiy-scappini/> (дата обращения: 01.11.2025).

3. Технология создания столов (аналоги) [Электронный ресурс] // Luxgamemsk.ru. — URL: <https://luxgamemsk.ru/?srsltid=AfmBOorcKIEU1uEbGhEuEzNYOI-W3NliQqEnKGbFaFMuHyeixvIPTC9a> (дата обращения: 01.11.2025).

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ДОМАШНЕГО КАМИНА «РЕЗОНАНС»

Н. В. Поморцева

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, natalya.pomortseva@yandex.ru

Научный руководитель: Ю. В. Веселова к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка декоративного камина-скульптуры, способного стать центральным элементом интерьера как в классическом, так и в футуристическом контексте. Ключевая концепция заключается в переосмыслении традиционного образа очага через призму работы со светом, а не с теплом. Объект проектируется как автономный арт-объект, преобразующий свет пламени в сложную игру преломлений и рефлексий, тем самым меняя «оптическую фактуру» пространства.

The project aims to develop a decorative fireplace-sculpture that can serve as the focal point of an interior, fitting within both classical and futuristic contexts. The core concept involves reinterpreting the traditional hearth through the lens of working with light, rather than heat. The object is designed as an autonomous art piece that transforms the light of a flame into a complex interplay of refractions and reflections, thereby altering the «optical texture» of the space.

Исторически камин выполнял утилитарную (обогрев) [1] и эмоциональную (создание уюта) функции. В современном интерьере акцент сместился исключительно на вторую задачу. Для её решения выбран биокамин — устройство, работающее на экологичном биоэтаноле (изопропиловом спирте с добавками). Его преимущества идеальны для замысла проекта:

1. Эстетическая чистота: пламя не выделяет дыма, сажи, запаха, не требует дымохода.

2. Абсолютная автономность и мобильность: для установки необходима только ровная поверхность.

3. Безопасность: продукт горения — водяной пар и углекислый газ в минимальных количествах.

Анализ рынка выявил нишу: существующие решения фокусируются на форме горелки или корпуса, но не используют свет пламени как основной художественный медиум. Данный проект призван заполнить эту лакуну. В качестве ключевого материала для светопреобразующего экрана выбран стемалит — закалённое стекло с керамической эмалью, вплавленной в поверхность при высоких температурах [3]. Его выбор обусловлен:

1. Долговечностью и безопасностью: закалённое стекло термически упрочнено, а эмаль неотделима от основы, устойчива к выгоранию и нагреву.

2. Декоративным потенциалом: возможность создания цветных, непрозрачных, фактурных поверхностей, активно взаимодействующих со светом.

3. Технологичностью: материал поддаётся резке, обработке кромок и позволяет создавать сложные формы.

Визуальный образ объекта — стилизованное пламя (Рисунок 1).



Рис. 1 – Итоговый внешний вид проекта

Конструктивно камин состоит из трех основных частей:

1. Корпус (основание и рама): изготавливается из экономичной и технологичной нержавеющей стали AISI 201, окрашивается в тёмно-коричневый цвет для визуального контраста со стеклом и создания «тяжёлого» основания.

2. Светопреломляющий экран: набор фигурных элементов из стемалита жёлто-оранжевой гаммы, закреплённых в раме на специальных демпфирующих держателях. Эта палитра усиливает эффект тепла и уюта, исходящего от пламени.

3. Технический блок: внутри корпуса, в изолированной полости, размещается горелка биокамина. Расчётная температура нагрева внешних поверхностей не превышает 50°C, что гарантирует безопасность при касании.

Производство светопреломляющего экрана осуществляется по классической технологии работы с стемалитом. Процесс начинается с раскроя листового стекла на заготовки заданного размера и формы. Затем выполняется тщательная обработка и шлифовка кромок для обеспечения безопасности и эстетичного вида. На подготовленную поверхность в контролируемых условиях наносится слой керамической эмали, после чего изделие проходит этап сушки. Завершающей и ключевой операцией является закалка в печи, которая придаёт стеклу высокую механическую прочность и обеспечивает необратимое спекание эмали с основой, формируя монолитную, долговечную и безопасную конструкцию.

Проект представляет собой синтез передовых материалов (стемалит) и современных отопительных технологий (биокамин), подчинённый единой художественной задаче — трансформации света открытого пламени в самостоятельный элемент интерьерного дизайна. Разработанное решение предлагает не просто альтернативу традиционному камину, а создаёт принципиально новый тип декоративного объекта, где главным действующим лицом становится динамичная игра света и тени, что отвечает запросам на индивидуализацию и технологическую эстетику в современном жилом пространстве.

Литература:

1. Как работает камин: устройство, принцип работы и безопасность [Электронный ресурс] // Magic-of-fireplace.ru. — URL: <https://magic-of-fireplace.ru/blog/kak-rabotaet-kamin/> (дата обращения: 15.11.2025).

2. Что такое биокамин и как им пользоваться [Электронный ресурс] // Club.dns-shop.ru. — URL: https://club.dns-shop.ru/blog/t-314-drugoe-dlya-klimata/134062-chto-takoe-biokamin-i-kak-im-polzovatsya/?ysclid=mi5pl822fi314829823&utm_referrer=https%3A%2F%2Ffyandex.ru%2F (дата обращения: 15.11.2025).

3. Стемалит (эмалит) [Электронный ресурс] // Aglass.ru. — URL: <https://aglass.ru/production/stemalit/?ysclid=mi5rlq6ila543394640> (дата обращения: 15.11.2025).

4. Стекло стемалит – технология производства и преимущества [Электронный ресурс] // Izolux.ru. — URL: <https://izolux.ru/poleznye-stati/steklo-stemalit-tehnologiya-proizvodstva-i-preimushchestva/?ysclid=mi5r4zg5k378591020> (дата обращения: 15.11.2025).

5. Как закрепить стекло в металлической раме из профиля [Электронный ресурс] // Arghome.ru. — URL: <https://arghome.ru/blog/kak-zakreplit-steklo-v-metallicheskoy-rame-iz-profilya/> (дата обращения: 19.11.2025).

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОГО ТРЮМО С ДЕКОРАТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В АНИМАЛИСТИЧЕСКОМ СТИЛЕ

М. В. Прудникова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, marywoodoo@yandex.ru

Научный руководитель: Ложкина Е. А., к.т.н.

Целью проекта является создание авторского трюмо (туалетного столика), в котором классическая форма наследует диалог с современными технологиями и смелым декором. Концепция строится на контрасте: изящная историческая мебель обогащается элементами, отсылающими к дикой природе (череп рыси) и современной магии света (светодиодные свечи), формируя образ «кабинета редкостей» (Wunderkammer) для современного интерьера.

The aim of the project is to create an original dressing table (vanity) where the classical form engages in a dialogue with modern technologies and bold decor. The concept is built on contrast: elegant, historic furniture is enriched with elements that reference the wild (a lynx skull) and modern magic of light (LED candles), creating the image of a "cabinet of curiosities" (Wunderkammer) for a contemporary interior.

Трюмо (от фр. *trumeau*) — предмет мебели с богатой историей, эволюционировавший от статусного дворцового зеркала эпохи Барокко до функционального элемента дамского будуара. Его путь отражает общие тенденции дизайна: от избыточного декора (резьба, позолота) через строгую элегантность XIX века к лаконичным и технологичным формам XX–XXI веков. Сегодня трюмо — это персональная станция для ухода, где эргономика, системы хранения и освещение играют ключевую роль.

Проектируемое трюмо сохраняет классические пропорции и основную функцию, но получает уникальное художественное наполнение. Доминантой декора становится стилизованный череп рыси

— символ остроты восприятия, независимости и связи с природой. Его дополняют светодиодные свечи, создающие таинственное, лишённое открытого огня, мерцание. Это сочетание вносит в утончённую эстетику будуара ноту готической романтики и современного технологичного арта.

Процесс производства сочетает традиционное столярное мастерство с методами аддитивных технологий и металлообработки:

1. Проектирование и моделирование. Этап начинается с создания детализированных художественных эскизов, определяющих общую стилистику и пропорции. На их основе разрабатываются точные 3D-модели всех компонентов, что позволяет не только визуализировать итоговый вид, но и провести виртуальную сборку, оптимизировать конструкции для последующего изготовления и подготовить файлы для станков с ЧПУ и 3D-принтера.

2. Изготовление деревянного каркаса. Основу трюмо формируют из массива дерева. Ключевые несущие и формообразующие детали — корпус, ножки, царги и декоративный обод — изготавливаются с помощью фрезерной обработки на деревообрабатывающем станке, что гарантирует высокую точность геометрии и чистоту поверхностей, необходимую для качественной сборки.

3. Отделка деревянных элементов. После механической обработки деревянные поверхности проходят многоэтапную финишную подготовку. Начинается она с последовательной шлифовки абразивами разной зернистости для получения идеально гладкой основы. Далее выполняется пропитка маслом — эта операция не только защищает древесину, но и глубоко проявляет её естественную текстуру и цвет, придавая благородную матовость. Финальным слоем наносится декоративное красочное покрытие, которое закрепляет результат и придает изделию окончательный цвет согласно дизайн-проекту.

4. Сборка основной конструкции. Подготовленные и обработанные деревянные детали собираются в единый жесткий каркас. Соединение осуществляется с использованием мебельных саморезов и, при необходимости, дополняется клеем для обеспечения максимальной прочности, долговечности и устойчивости конструкции.

5. Изготовление декоративных элементов. Уникальный художественный облик трюмо создают детали, произведенные современными методами:

- Аддитивное производство (3D-печать). Технология послойного наращивания позволяет создать сложнопластичные элементы, практически недостижимые при традиционном формовании или ручной лепке. Именно этим методом изготавливаются центральный

декоративный акцент — стилизованный череп рыси, а также изящные корпуса для светодиодных «свечей», повторяющие форму классических восковых.

- Металлообработка. Для контраста с теплой древесиной и пластиком изготавливаются функционально-декоративные элементы — металлические рукоятки для выдвижных ящиков. Они могут быть выточены, отлиты или согнуты из прутка, придавая изделию тактильное разнообразие и оттенок индустриальной эстетики.

6. Финальная сборка и монтаж. На завершающем этапе все компоненты интегрируются в единое целое. В специально фрезерованную выемку устанавливается зеркало. Монтируется и подключается система светодиодной подсветки (как встроенная вокруг зеркала, так и в самих «свечах»). Все декоративные элементы — напечатанные на 3D-принтере череп и свечи, а также металлические ручки — надежно крепятся к собранному деревянному корпусу. Проводится окончательная проверка функциональности всех систем и качества сборки.

Данная работа представляет собой не просто проект предмета мебели, а концепцию интерьерного арт-объекта, несущего в себе сложный нарратив. Он ведет диалог на стыке эпох, соединяя ауру исторического буфара с эстетикой современного «кабинета редкостей» (Wunderkammer).

Синтез классического столярного мастерства, инновационной 3D-печати и интегрированного светодиодного освещения позволил создать продукт, который является прямым ответом на актуальный запрос рынка — глубокая персонализация и индивидуализация жилого пространства. Каждая деталь, от фактуры дерева до силуэта напечатанного черепа рыси, работает на формирование уникальной истории, которую владелец включает в свой интерьер.

Таким образом, трюмо «Лесной аристократ» переосмысливает традиционный формат, предлагая новый взгляд на исторический предмет мебели. Он сохраняет свою утилитарную суть — быть функциональной станцией для ухода, — но при этом обретает дополнительную ценность как самостоятельное художественное высказывание, наполненное актуальным смыслом и характером.

Литература:

1. История трюмо или туалетный столик [Электронный ресурс] // Portomebel.ru. — URL: <https://portomebel.ru/porto-advice/istoriya-tryumo-ili-tualetnyy->

stolik/?srsltid=AfmBOooUt6cpioRNjVFQr7Y1fR15b3oQvmL28sxmnmdxc
KZiWUmv2KEF (дата обращения: 19.11.2025).

2. Туалетный столик [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. — URL:

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BA (дата обращения: 19.11.2025).

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ПАРНЫХ УКРАШЕНИЙ: ПОДВЕСКИ И КОЛЬЦА «РОЗА В КУБЕ»

С. Е. Разумов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vlastelinenotov@gmail.com**

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка технологии изготовления парных украшений: подвески и кольца «Роза в кубе». Основной задачей выступило создание гармоничного комплекта, объединённого общей концепцией, материалами и конструктивными элементами, а также выбор оптимальных методов их производства. Итогом работы стало изготовление прототипа подвески.

The aim of the project is to develop a technology for manufacturing matching jewelry: pendants and rings called "Rose in a Cube". The main task was to create a harmonious set, united by a common concept, materials, and design elements, as well as to select the optimal methods for their production. The result of the work was the creation of a prototype pendant.

В современном ювелирном искусстве наблюдается устойчивый интерес к уникальным, концептуальным изделиям, обладающим не только декоративной, но и смысловой ценностью. Парные украшения, дополняющие друг друга, позволяют владельцу создать целостный и продуманный образ. Данный проект предлагает комплект, сочетающий в себе классическую красоту цветка и индустриальную эстетику геометрической формы.

Концепция изделия основана на контрасте: нежная и органическая форма розы, выполненная из меди, заключена в жёсткий и структурный каркас из мятых латунных трубок. Такой подход создаёт визуальный и тактильный интерес, символизируя соединение хрупкой природной красоты и сдерживающих её условностей.

В процессе разработки дизайн-проекта были выделены следующие ключевые идеи:

- Единство стиля: оба украшения объединены использованием идентичных материалов (медь, латунь, фианит) и конструктивного элемента – деформированной латунной трубки.

- Конструкция: подвеска представляет собой розу, размещённую внутри прозрачного объёмного куба, грани которого образованы трубками. Кольцо содержит тот же элемент – куб с закреплённой в ней медной розой в центре которой размещён фианит.

- Технология: для создания детализированной розы выбрана техника холоднойковки из медного листа. Для формирования каркасов – механическая деформация трубок с последующей сборкой.

Анализ аналогов и выбор технологии: были проанализированы существующие на рынке украшения с использованием цветочной тематики и комбинации металлов. Анализ показал, что сочетание меди и латуни является популярным. Однако использование именно деформированных трубок в качестве основного конструктивного элемента встречается редко, что придаёт проекту уникальность.

Для изготовления розы была выбрана техника холодной деформации и ручной пайки. Эта технология позволяет создавать детализированные и реалистичные лепестки с высокой степенью художественной выразительности. Медь идеально подходит для этой цели благодаря своей пластичности и красивому цвету.

Для создания основы (куба для подвески и кольца) выбрана латунь – прочный и долговечный сплав, хорошо поддающийся механической обработке. Трубки будут предварительно пластически деформированы для придания им необходимого фактурного вида, после чего собраны в единую конструкцию с помощью металлической проволоки.

Итоговая сборка подвески и кольца будет производиться методом пайки и закреплением фианита в центре бутона.



Рис. 1 – Эскиз парных украшений

Эскиз представлен на рис. 1, фотографии изготовленного прототипа подвески на рис. 2.

В результате работы был разработан дизайн — проект и технология по которой был изготовлен прототип подвески парных украшений «Роза в кубе». Комплект представляет собой гармоничное сочетание органики и геометрии, мягкости меди и структурности латуни. Использование традиционных ювелирных техник (холодная ковка, пайка) обеспечивает высокое качество и уникальность каждого изделия. Данные украшения могут стать ярким акцентом в образе, подчеркивающим индивидуальность и тонкий вкус владельца.



Рис. 2 – Готовый прототип подвески

Литература:

1. Бурдуковский В. Г. Технология процессовковки: учебное пособие / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. 348 с.
2. Гуляев А. П. Металловедение: учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. Москва: Металлургия, 1986. 544 с.
3. Мутылина И. Н. Художественное материаловедение. Ювелирные сплавы: учебное пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2005. 236 с.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ УКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ КАМПУСА НГТУ

А. А. Сергеева

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, alya.sergeeva.2005@inbox.ru

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью работы является разработка проекта указателей для кампуса Новосибирского Государственного Технического Университета. При разработке эскизов были изучены аналоги подобных изделий и брендбук НГТУ. Разработанный указатель выполнен в витражной технике с использованием фирменных цветов университета. В тоге работы был разработан дизайн уличного указателя и выбрана технология его изготовления.

The goal of this project is to develop a sign for the campus of Novosibirsk State Technical University (NSTU). During the design phase, analogues of similar products and NSTU brand book were studied. The proposed sign is made in stained glass technique. As the result the sign's design was developed and the technique of production was chosen.

В Новосибирском государственном техническом университете повсеместно внедряются различные технологии, помогающие улучшить навигацию внутри корпусов. Однако, когда дело касается ориентирования между корпусами с улицы – найти необходимое здание становится непростой задачей, в особенности для человека, находящегося на территории кампуса впервые или только осваивающего необходимые маршруты, как, например, первокурсники. Указатели помогают людям ориентироваться на территории университета, а также помимо практической функции, дополняют эстетический вид.

Таким образом, указатели на территории Новосибирского Государственного Технического Университета необходимы и несут практическую и эстетическую функции.

Первым этапом для осуществления поставленной задачи необходимо создать дизайн-проект будущих указателей. Важно, чтобы указатели визуально гармонировали с общей стилистикой и оформлением университета. Для этого был подробно изучен брендбук Новосибирского Государственного Технического Университета, что дало больше конкретики в выборе цветов и шрифтов. С учётом этих данных было придумано 7 эскизов с различными сочетаниями цветов, вариантами использования уже разработанных логотипов и элементов фирменного стиля. После анализа эскизов был выбран наиболее подходящий и вписывающийся в общий стиль университета (Рисунок 1).



Рис. 1 — Финальный эскиз указателя

Финальный вариант представляет собой указатель в виде стрелки, проходящей сквозь логотип НГТУ и символизирующий вход в кампус университета в начале и конце которой изображён бумажный самолётик с надписью, на какой корпус показывает указатель.

Следующим шагом проектируется и разрабатывается технология изготовления. Эстетически дополнит уже имеющиеся в университете витражи указатель, выполненный из витражного стекла. Главная цель данного изделия — подходящий габарит и заметность, чтобы выполнялась основная навигационная функция.

Основные размеры:

1. Длина изделия – 750 мм;
2. Сторона квадрата – 300 мм;
3. Ширина стрелки – 200 мм;
4. Высота столба-опоры 3000 мм.

Для изготовления витража была выбрана техника «Тиффани», так как использование готового стекла увеличит долговечность витража. Суть технологии в том, что сначала изготавливается рисунок на бумаге, все части нумеруются, рисунок разрезают по контурным линиям. Далее, каждую бумажную деталь наклеивают на стекло нужного цвета и вырезают при помощи стеклореза, после чего края деталей обтачиваются, тем самым приобретают более точные формы и размеры. Следующим шагом на детали из стекла наносится медная обмотка, стеклянные детали раскладываются в нужном порядке, и с помощью паяльника с припоем соединяются. Последним этапом является промывка, нанесение патины, очистка и полировка.

В ходе работы были проанализированы техники изготовления витражей и фирменный стиль Новосибирского государственного технического университета и созданы эскизы указателей. В итоге, был

выбран наиболее подходящий вариант и разработана технология изготовления.

Литература:

1. Кузнецова Л. Ш. Витраж: история и современность // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 2-4. С. 923–927. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vitrazh-istoriya-i-sovremennost> (дата обращения: 29.11.2025).

2. Михеева Т. Б. Выразительные свойства витража в современном интерьере // Вестник Оренбургского государственного университета. 2008. № 80. С. 82–87. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyrazitelnye-svoystva-vitrazha-v-sovremennom-interiere> (дата обращения: 29.11.2025).

3. Степанова М. А. Свет и цвет в стекле витражей // Наука, образование и культура. 2017. № 4 (19). С. 95–97. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svet-i-tsvet-v-stekle-vitrazhey> (дата обращения: 29.11.2025).

РАЗРАБОТКА ДЕКОРАТИВНОГО ДИЗАЙНА КОРПУСА НАУШНИКОВ

А. М. Складнюк

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, annaskladnyuk@gmail.com

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка металлического корпуса для наушников, который будет отличаться эстетичным дизайном в сочетании с практичной конструкцией. Такой аксессуар станет полезной заменой повседневных наушников на мероприятиях и в случаях, когда каждая деталь образа должна быть украшением. Данная модель не просто гаджет — это ювелирное изделие, предмет бижутерии.

The project's goal is to develop a metal headphone case with an aesthetic design and practical construction. This accessory will serve as a useful replacement for everyday headphones during events and occasions where every detail of the outfit needs to be a piece of jewelry. It is not just a gadget; it is a jewelry piece or a piece of costume jewelry.

На сегодняшний день используются различные виды корпусов. Наушники бывают накладные, охватывающие, вкладные, внутриканальные. Наиболее распространены внутриканальные вакуумные наушники, с резиновыми амбушюрами. Они удобны, практичны, отличаются малыми габаритами и отличным

шумоподавлением. Есть множество моделей, которые крепятся к уху тем же способом, что и кафф. Пользуясь этим сходством, можно объединить строение каффа с классической конструкцией вакуумного наушника, получив художественные изделие с практическим назначением.

В данной теме имеется множество возможностей для творчества. Одним из важнейших аспектов в процессе разработки дизайна стал отказ от правильной геометрии, которая характерна для подавляющего большинства дизайнерских решений в сфере разработки электроники и бытовой техники. Нестрогие линии и «лишние» детали сделают модель более декоративной, художественной. Далее, для визуального облегчения конструкции, которое скомпенсирует недостатки от использования металлического материала, было решено использовать контраст между сплошной, округлой, более массивной формой и тонкими, витиеватыми деталями. Эти детали будут отсылать к растительному миру напоминающим корневую систему строением и легкой хаотичностью. В целом, за основу референса для дизайна был взят образ достаточно известного и распространенного в искусстве цветка - физалиса.

По своему строению наушники входят в разряд беспроводных компактных. У таких моделей имеется дужка на шее, они максимально удобны при активном движении, а в художественном плане дают возможность вписать в конструкцию дополнительный декоративный элемент с практическим назначением. Дужку на шее было решено исполнить в виде спирали, это позволит регулировать длину провода между наушником и ободом.

В ходе поиска аналогов основной идеи было установлено практически полное отсутствие конкуренции в данной сфере. Можно предположить, что это связано со сложностью в адаптации самого функционального устройства наушников под определённый новый корпус, имеющий особую форму и свойства, такие как резонанс и отсутствие шумоподавления. Однако все эти трудности в масштабах одного изделия можно частично нивелировать при правильном подходе. Отсутствие конкуренции выделит такое изделие и сделает его уникальным.

В качестве основных материалов были выбраны медь и латунь. Эти металлические материалы часто используются в ювелирном деле. Они легко обрабатываются, имеют яркий теплый оттенок и значительно выделяют изделие, подчеркнут его нетехнические свойства.

Более крупные детали простой формы было решено выполнить из латуни. Входящий в её состав цинк придает ей характерный яркий, солнечно-желтый оттенок, который украшает кожу, не требуя при этом серьезных финансовых вложений, в отличие от золота. Латунь прочнее и

тверже чистой меди, что сделает основные детали более устойчивыми к деформации и царапинам, а значит, и более долговечными. При этом латунь сохраняет хорошую пластичность, она прекрасно поддается ковке, литью, полировке и патинированию, открывая широкий простор для творчества.

Для получения более тонких и изящных элементов конструкции была выбрана медь. Медь обладает насыщенным красно-коричневым оттенком с золотистым или розовым подтоном. Этот цвет выглядит одновременно и богато, и аутентично, создавая винтажный или этнический шарм, который сложно достичь с другими металлами. Медь вступает в реакцию с воздухом, влагой и кожей, постепенно меняя свой цвет. Она может покрываться темно-коричневым, зеленоватым или синеватым налетом. Это свойство позволит подчеркнуть образ живого организма и растительный мотив, которые заложены в основу выбранного дизайна изделия.

Также в конструкции используется сторонняя функциональная часть — излучатель и передатчик звукового сигнала. Она не играет важной роли для достижения поставленной цели, оставаясь просто внутренним каркасом для наглядности, и может быть заменен на другой.

Технологический процесс создания изделия начинается с подгонки формы с целью достижения наиболее эргономичного строения. Далее при помощи операцийковки, гибки, пайки, резки изготавливается сама конструкция. После этого необходимо адаптировать устройство рабочей части наушников и встроить в корпус.

Результатом станет работающее устройство с новым, усовершенствованным в визуальном плане корпусом.

Литература:

1. Закамов Д. В., Морозова Е. А., Муратов В. С. Применение металлических материалов для изготовления ювелирных и художественных изделий: учебное пособие. Самара: Самарский государственный технический университет, 2021. 130 с.
2. Марченков В. И. Ювелирное дело: практическое пособие. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Высшая школа, 1992. 256 с.
3. Чуракова М. В. Технология изготовления ювелирных изделий. Санкт-Петербург: Высшая школа народных искусств (ВШНИ), 2019. 55 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКТА УКРАШЕНИЙ С ЛОШАДЬМИ

Д. Р. Степашкина

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, dasastepashkina038@gmail.com

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью данного проекта является разработка технологии изготовления комплекта украшений с использованием образа лошадей. Основной задачей работы стал поиск формы и художественного решения ювелирного комплекта, а также взаимосвязанный выбор материалов и технологии его изготовления. В работе представлен сравнительный анализ различных технологий изготовления проектируемого изделия, результатом которого стал выбор оптимальной, наиболее соответствующей выбранным материалам, конструкции и дизайну ювелирного комплекта.

The purpose of this project is to develop a technology for making a set of jewelry using the image of horses. The main objective of the work was to find the shape and artistic solution for the jewelry set, as well as to select the materials and manufacturing techniques that would best suit the chosen design. The project includes a comparative analysis of various manufacturing techniques for the designed product, which resulted in the selection of the optimal technique that best suits the chosen materials, design, and style of the jewelry set.

2026 год по восточному календарю — год Красной Огненной Лошади, животного, олицетворяющего энергию, страсть, свободу и стремительный успех. Данный проект представляет собой разработку ювелирного комплекта (подвеска и серьги), призванного стать материальным воплощением этих качеств и амулетом-пожеланием удачи. Центральным художественным и смысловым элементом выбран огненный опал — камень, чья внутренняя игра света («огненная» опалесценция) идеально резонирует с символикой стихии года, добавляя украшениям уникальное сияние и глубину.

Комплект выполняется из розового золота 585 пробы, чей теплый оттенок усиливает тему огня и солнца.

Подвеска представляет собой композицию из двух стилизованных коней, скачущих в динамичном противоходе. В центре, как солнце или источник их энергии, размещен круглый кабошон огненного опала.

Каждая серьга изображает стоящего коня, повернувшего голову к источнику света — огненному опалу, закрепленному над ним.

Ключевой задачей стал выбор технологий, обеспечивающих точную передачу сложной пластики, надежную закрепку хрупкого опала и высокое качество исполнения. Были проанализированы три подхода:

1. Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ): классический метод для получения высокодетализированных металлических отливок сложной формы.

2. Аддитивные технологии (3D-печать): современный способ создания безупречных мастер-моделей (восковок) для ЛВМ на основе цифровых эскизов.

3. Ручная ювелирная работа: незаменима для филигранной финишной обработки, полировки и, что критически важно, для безопасной и надежной ручной заделки огненного опала.

Сравнительный анализ показал, что максимального результата позволяет достичь сочетание всех трёх методов.

Для изготовления ювелирных украшений сложной формы из металла наиболее подходящей технологией является литье по выплавляемым моделям. Литье по выплавляемым моделям – процесс получения точных и детализированных отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению легкоплавкой модели при ее предварительном нагревании. Такая методика позволяет получать высокоточные и сложные элементы с тонкой проработкой деталей, что критично для создания изящных фигур лошади (например, для подвески, кольца или серег), обеспечивая прочную основу для инкрустации камня.

В современном ювелирном деле 3D-печать является неотъемлемой частью процесса создания сложных изделий. Это методика изготовления объемных восковых или полимерных моделей на основе цифровых 3D-моделей. Суть процесса заключается в постепенном послойном воспроизведении объектов с высочайшей точностью. Для этого проекта был разработан детальный цифровой эскиз, представляющий стилизованную фигуру лошади, который затем распечатывается на 3D-принтере, служа идеальной "восковкой" для последующего литья по выплавляемым моделям. Это позволяет создавать формы, идеально подходящие для инкрустации огненным опалом, с высокой степенью детализации.

В отличие от полностью автоматизированных методов, ручная ювелирная работа предполагает создание и доработку изделия вручную. Этот подход особенно важен на этапах, требующих деликатного обращения и точной подгонки, например, при финишной обработке металлических элементов и при заделке огненного опала. Ручная заделка позволяет идеально подогнать камень в оправу и минимизировать риск повреждения.

Сравнительный анализ рассмотренных подходов показал, что наиболее оптимальным способом изготовления желаемого комплекта

ювелирных украшений является комбинация аддитивных технологий (для создания моделей) с последующим литьем и обязательной ручной ювелирной работой на этапах обработки, полировки и заделки огненного опала. Такой подход позволяет добиться максимальной детализации и прочности металлической основы, а также обеспечить деликатную и надежную инкрустацию камня, которая полностью раскроет его сияние.

После доработки и утверждения цифровых эскизов в CAD-программе, будет создана высокоточная 3D-модель комплекта украшений с учетом всех тонкостей заделки камня. Далее эта модель будет распечатана на специализированном 3D-принтере создав восковую мастер-модель. Эта восковка будет использоваться для литья по выплавляемым моделям, для получения заготовок из выбранного металла. После извлечения из литейной формы, металлические заготовки пройдут тщательную механическую обработку – удаление литников, шлифовку, опилование и предварительную полировку. Следующий этап – заделка огненного опала в заранее подготовленные касты, осуществляемая вручную. Финальный этап включает тщательную финишную полировку каждого элемента, обеспечивая безупречный блеск металла и сияние опала, а также контроль качества готового ювелирного комплекта.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы: в ходе разработки комплекта ювелирных украшений были изучены методики, рассмотрение которых помогло выявить оптимальные подходы к созданию высококачественных изделий. Комплект был разработан как не только эстетически привлекательный аксессуар, но и глубоко символический предмет, отражающий качества года Огненной Лошади с красотой огненного опала. Была успешно решена основная задача проекта – выбран оптимальный технологический маршрут, сочетающий современные аддитивные технологии, традиционное литье из драгоценных металлов и ручную заделку камней.

Литература:

1. Заева Н. А., Безденежных А. Г. Проектирование современных ювелирных изделий с подготовкой конструкторско-технологической документации. Кострома: Костромской государственный университет, 2017. 91 с.
2. Лившиц В. Художественное литьё: материалы, технология, практика: учебник для вузов. Москва: РИПОЛ КЛАССИК, 2004. 192 с.
3. Луговой В. П. Технология ювелирного производства: учебник. Минск: Вышэйшая школа, 2023. 367 с.: ил.

4. Мутылина И. Н. Художественное материаловедение. Ювелирные сплавы: учебное пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2005. 236 с.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ БРАСЛЕТА «СЕРЕБРЯНЫЙ КОНТУР»

Е. А. Стонякина

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, stonyakina05@mail.ru**

Научный руководитель Ю. В. Веселова, к.п.н., доцент

Цель проекта — разработка серебряного браслета, который сочетает в себе изящество классического стиля и современную лаконичность формы. Изделие создаётся как универсальное украшение, подходящее для повседневного ношения и особых случаев. Основной акцент делается на чистоте линий, благородстве материала и мягком сочетании спокойных оттенков эмали.

The primary objective of this project is the design and fabrication of a sterling silver bracelet that seamlessly integrates the elegance of classical style with contemporary minimalist aesthetics. This piece is envisioned as a versatile adornment, suitable for both quotidian wear and formal events. Key emphasis will be placed on the crispness of its lines, the inherent luster and nobility of the material, and a harmonious blend of subdued enamel hues.

Браслет является одним из самых утончённых и символических видов украшений. В разные эпохи он выражал индивидуальность владельца, социальный статус и стиль. Современный браслет — это не только элемент декора, но и способ подчеркнуть вкус и эстетику личности.

При создании дизайн-проекта браслета основное внимание уделено поиску гармонии между простотой формы и выразительностью отделки. В процессе разработки были определены следующие направления:

- стиль: современный минимализм с элементами классики;
- материал: серебро 925 пробы;
- техника декорирования: холодная эмаль;
- цветовая гамма: серебристо-серый металл в сочетании с матовой эмалью молочно-белого и светло-серого оттенков.

Дизайнерская концепция браслета основана на идее спокойствия, уравновешенности и чистоты линий. Украшение представляет собой гладкую серебряную пластину мягко-овальной формы, плавно повторяющую изгиб запястья. По внешней поверхности проходит тонкая полоса эмали, делящая браслет на две асимметричные части. Это создаёт ощущение движения и лёгкости, не перегружая внешний вид.

Эмалевое покрытие выполнено в приглушённой цветовой гамме, без ярких контрастов — сочетание серебра с бело-серой эмалью подчёркивает благородство и сдержанность изделия. Такое решение

делает браслет универсальным: он гармонично сочетается с любой одеждой и не теряет актуальности со временем.

В ходе проектирования были изучены аналоги серебряных браслетов с эмалью, их формы, пропорции и способы крепления. Анализ показал, что изделия в сдержанной цветовой палитре и с лаконичным декором пользуются устойчивым спросом благодаря своей универсальности и эстетичности.

Технологический процесс изготовления браслета включает:

1. Разработку эскизов и моделирование формы изделия.
2. Вырезание заготовки из серебряного листа.
3. Формовку овальной формы браслета.
4. Шлифовку и полировку поверхности.
5. Нанесение холодной эмали светлых оттенков и последующую сушку.
6. Финальную обработку и покрытие защитным лаком.

Серебро выбрано как основной материал благодаря его высокой пластичности, благородному цвету и устойчивости к коррозии. Оно идеально сочетается с мягкими оттенками эмали, создавая образ изделия, передающего спокойствие и утонченность.

Результат проекта — серебряный браслет с минималистичным декором, выполненный в приглушённых тонах. Он отражает концепцию современного украшения: простая форма, благородный материал и мягкое сочетание цветов делают его элегантным акцентом любого образа.

Литература:

1. Баранова Л. Н. Материаловедение в ювелирном производстве. Москва: Колос, 2017.
2. Гольдштейн В. И. Основы художественного проектирования ювелирных изделий. Москва: Академия дизайна, 2018.
3. Кузнецова Н. А. Технология обработки благородных металлов и декоративных покрытий в ювелирном деле. Санкт-Петербург: Профобразование, 2021.
4. Соколова Е. П. История и стилистика ювелирных украшений: от древности до современности. Москва: Арткнига, 2019.
5. Чернышев А. В. Современные технологии эмалирования и декорирования металлов. Екатеринбург: Уральский университет, 2020.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЬХАРПЫ

В. В. Ужан

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vlad.uzhnyi@yandex.ru**

Научный руководитель: Ю. В. Веселова к.п.н., доцент

Целью данного проекта является разработка технологии изготовления музыкального инструмента на основе никельхарпы. Основная сложность изготовления данного инструмента заключается в создании клавиатуры, традиционным материалом для которой является дерево. Отказ от древесины в пользу современных материалов и стандартных деталей позволяет значительно упростить и ускорить технологию изготовления. В данной работе обоснованы конструкция, выбор материалов и способы создания изделия.

The purpose of this project is to develop a manufacturing technology for a musical instrument based on the nyckelharpa. The main difficulty in making this instrument lies in creating the keyboard, which is traditionally made of wood. Replacing wood with modern materials and standardized components makes it possible to significantly simplify and accelerate the manufacturing process. This work provides substantiation for the design, material selection, and production methods.

Значительное распространение и признание в последнее время получают коллективы фолк-музыки. Так, даже в Новосибирске существует получивший признание ансамбль ранней музыки «INSULA MAGICA», который уже более 40 лет ведёт свою деятельность.

Направление фолк-музыки, однако, часто подразумевает не только исполнение старинной музыки, но и использование соответствующих времени инструментов, которые зачастую крайне скудно представлены на рынке. Очень часто подобным коллективам приходится лично заказывать инструмент у мастеров или даже изготавливать их собственными силами.

Никельхарпа — один из таких случаев. Это традиционный шведский музыкальный инструмент, имеющий несколько модификаций, поскольку развивался более чем 600 лет. Основная трудность его изготовления, как и некоторых подобных ему инструментов (таких как моряхарпа, колесная лира и другие), заключается в сложном механизме клавиш, которые располагаются в несколько рядов для зажимания струн в разных местах, являясь своеобразными «ладами». По сей день, основным материалом для создания такого требовательного к точности и стабильности механизма является дерево. Стандартной практикой у мастеров является выдерживание уже готового инструмента перед финальной настройкой

до отправки покупателю в течение двух-трёх месяцев, которые инструмент просто лежит на складе.

Так как механизм клавиш почти не участвует в процессе резонирования звука инструментом, можно смело отказаться от древесины в пользу более простых в обработке материалов, а также активно внедрить в конструкцию стандартные детали.

Представлен разработанный в ходе работы дизайн кнопки (Рисунок 1), который обладает следующими преимуществами перед традиционным:

1. Пластик и металл значительно более стабильны в условиях перепада влажности и температуры, нежели древесина.

2. Нет необходимости в длительной подгонке прямоугольных отверстий под кнопки для обеспечения легкого хода посадки, времязатратные точные операции подгонки заменены на более простые, подлежащие автоматизации.

3. Меньший размер кнопки, ограниченный диаметром штифта в 4,5мм, позволяет гораздо проще и плотнее расположить кнопки, уменьшая габарит и упрощая конструкцию изделия.

4. Возможность настройки и регулировки каждой отдельной кнопки без использования инструмента.

5. Общая модульность, масштабируемость и ремонтпригодность — можно легко заменить элемент или адаптировать дизайн в зависимости от предпочтений заказчика.

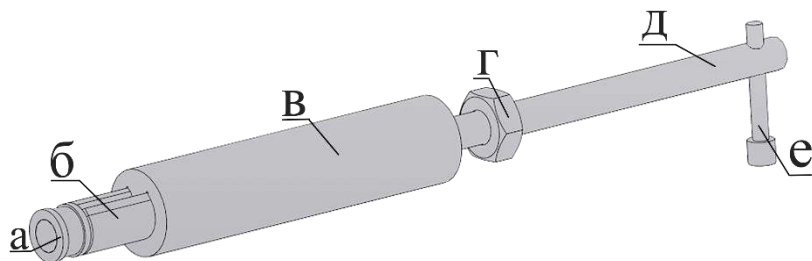


Рис. 1 – Схема кнопки:

а) латунная вставляемая гайка; б) пружинный штифт; в) печатаемый патрон кнопки; г) гайка; д) шпилька; е) гвоздь мебельный финишный

Корпус инструмента изготавливается из дерева, а клавиши представляют собой сборку из стандартных деталей, устанавливаемых в монолитную напечатанную на 3Д принтере деталь (Рисунок 2). Традиционный инструмент, как правило, обладает 37 клавишами, представленный в работе же дизайн имеет 60, что не является пределом,

а лишь оптимальной конфигурацией, определяемой выбором между компактностью, эргономикой и доступными для изготовления ресурсами.

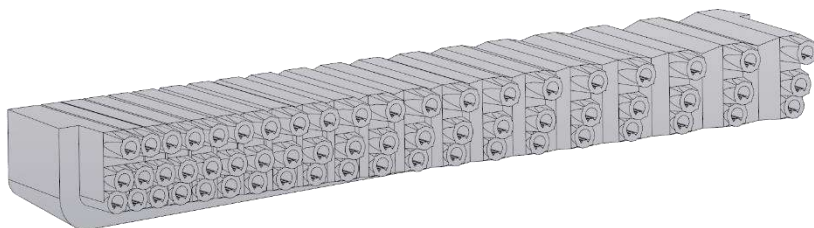


Рис. 2 – Объединённые в единую деталь патроны клавиш

Также, общее упрощение процесса изготовления и использование стандартных изделий позволяет делегировать некоторые этапы производства при наличии такой необходимости.

Стандартные изделия подбирались с учетом их доступности, а также их взаимозаменяемости. Все использованные детали легко найти для покупки как в розницу, так и оптом.

Процесс изготовления никельхарпы включает в себя следующие этапы:

1. Стандартными столярными операциями производится сборка корпуса несложной конфигурации.

2. Собранный корпус окрашивается морилкой, покрывается лаком, за исключением места крепления клавиатуры, порожка и струнодержателя.

3. Мост, порожек и струнодержатель вырезаются лазерным станком с ЧПУ из берёзовой фанеры и устанавливаются на корпус.

4. Единый клавишный патрон печатается на 3Д принтере, печать занимает порядка 12 часов на современном среднестатистическом коммерческом принтере, расход пластика — 270 грамм, пластик — PLA, наиболее простой для печати и распространённый материал, что позволяет легко получить необходимую точность посадок кнопок.

5. Монтируются колки и крепления плечевого ремня.

6. Поверхность продольного разреза в штифтах является ненормируемой, и, как правило, никак не обрабатывается после резания, для обеспечения лёгкого скольжения клавиши в патроне необходимо сгладить её надфилем.

7. Внутри пружинных штифтов нарезается резьба М3, дополнительное рассверливание или другие подготовительные операции не требуются, так как внутренний диаметр штифта типоразмера 4мм сразу подходит для нарезания в нём резьбы.

8. Конец шпильки расплющивается.

9. В расплюсненном конце шпильки сверлится отверстие.
 10. В созданное отверстие вбивается мебельный гвоздь и фиксируется пайкой.
 11. Производится сборка клавишного механизма: собранные клавиши без латунной гайки вставляются в единый патрон, после чего их положение предварительно фиксируется латунной гайкой.
 12. Клавишный механизм клеивается в корпус.
 13. Устанавливаются и настраиваются струны.
 14. Уточняется положение моста относительно клавиатуры по высоте звучания струн.
 15. Окончательная настройка струн и клавиш, наносится канифоль на струны.
- В ходе работы был разработан следующий дизайн музыкального инструмента (Рисунок 3).

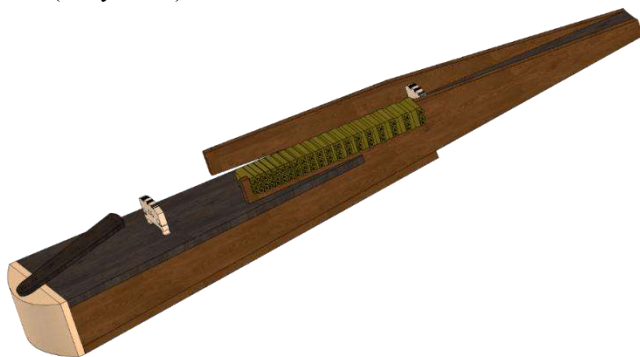


Рис. 3 – Упрощённая 3Д модель никельхарпы

В качестве материала для корпуса инструмента было выбрано дерево — ель, отличающаяся дешевизной и простотой обработки. Она также обладает нейтральным цветом, который легко перекрывается морением, позволяя добиться большего разнообразия цветового решения.

Литература:

1. Bucur V. Handbook of Materials for String Musical Instruments. Cham: Springer, 2016. 975 p.
2. Waring D. Making Wood Folk Instruments. New York: Sterling, 1990. 160 p.
3. Проектирование и изготовление музыкальных инструментов с 3D печатью [Электронный ресурс] // 3dtoday.ru. — URL: <https://3dtoday.ru/blogs/lider-3d/proektirovanie-i-izgotovlenie-muzykalnykh-instrumentov-s-3d-pecatyu> (дата обращения: 08.11.2025).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОКОННЫХ РЕШЕТОК С ПОВЫШЕННОЙ ЭСТЕТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ПАТТЕРНОВ

С. М. Федорова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, veta_fdrova@mail.ru**

Научный руководитель: Веселова Ю. В., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка серии оконных решёток, способных стать не только элементом безопасности, но и объектом, имеющим художественную ценность. По результатам проведенного анализа существующих аналогов, была разработана концепция изделия, выбор материалов и технологии изготовления, адаптированных для серийного производства.

The purpose of the project is to develop a series of window grates that can become not only a security element, but also an object of artistic value. Based on the analysis of existing analogues, a product concept was developed, as well as the selection of materials and manufacturing techniques adapted for mass production.

Оконные решётки в российских городах — это массовый продукт, функциональность которого практически полностью подавила эстетику. Типовые гнутые конструкции создают визуальный шум и часто ассоциируются с ощущением «клетки», негативно влияя на психологический климат городской среды.

Предпроектные исследования показали, что существующие на рынке решётки можно разделить на три группы:

1. Типовые кованые («завитушки»): не несут уникальной смысловой нагрузки, визуально устарели.

2. Геометрические (сварные): более современные, но безлики и индустриальны.

3. Художественные (штучные): существуют как арт-объекты, но их производство дорого и не стандартизировано.

Концепция проекта предлагает вернуть решёткам индивидуальность и смысл. Таким образом, она перестаёт быть просто барьером между человеком и городским пространством, превращаясь в связующее звено и художественную интерпретацию вида из окна.

Были разработаны четыре ключевых паттерна:

1. «Птица»: динамичный силуэт, построенный на диагональных линиях, создающий иллюзию взлёта и визуально облегчающий конструкцию.

2. «Дерево»: статичная, но выразительная композиция, «растущая» из нижнего угла оконного проёма.

3. «Трава»: пучок тонких вертикальных линий разной длины, идущих от нижней границы окна. Одни стебли доходят почти до верха, другие — лишь на треть. Между ними — переменный, неравномерный зазор.

4. «Горизонт»: несколько тонких изогнутых горизонтальных линий, идущих параллельно друг другу через всё окно. Их высота и расстояние между ними слегка варьируются от окна к окну.

Предложенные варианты отличаются отсутствием сложных и громоздких элементов, что соответствует современным эстетическим запросам и не создаёт визуального шума.

Конструкция всех решеток адаптирована к типовым архитектурным параметрам. В качестве основного способа фиксации выбрано скрытое крепление в торец оконного проёма. Данный метод предполагает установку крепёжных элементов в предварительно подготовленные углубления в стене с последующей их заделкой [1].

Выбор цветового решения предусматривает гармоничное сочетание с пастельными фасадами домов, предложена палитра на основе матовых порошковых покрытий. Вместо стандартных черного и белого цветов используются нейтральные природные оттенки: светло-бежевый, песочный, серо-зеленый, серо-голубой.

При выборе технологии изготовления учитывалась возможность серийного производства, для чего был проведён сравнительный анализ технологий. Художественнаяковка исключена ввиду высокой трудоёмкости и стоимости, неприемлемой для серии. Основной альтернативой для создания элементов из прутка является технология холодной гибки с ЧПУ в сочетании с лазерной резкой для подготовки деталей [2].

Создание серии подобных художественных решёток является актуальным, поскольку отвечает явному рыночному и социальному запросу на трансформацию типовых утилитарных объектов в уникальные произведения малой архитектурной формы.

Литература:

1. Борискина И. В., Плотников А. А. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий: учебное пособие для вузов. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 215 с.

2. Килов А. С. Производство заготовок. Листовая штамповка: учебное пособие. Москва: Академия, 2004. 208 с.

3. Лазерная резка металлов: учебное пособие для вуза. Москва: Высшая школа, 1978. 156 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АВТОРСКОГО ШЕЙНОГО УКРАШЕНИЯ

Е. О. Фоменко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, elizabet190804@mail.ru**

Научный руководитель: Лосинская А. А., к.т.н.

Целью проекта является разработка технологии изготовления шейного украшения, вдохновленного феей Морганой. Основной задачей работы стал поиск формы украшения, а также взаимосвязанный выбор материалов и технологии изготовления. В работе представлен сравнительный анализ нескольких технологий изготовления проектируемого изделия, результатом которого стал выбор оптимальной, наиболее соответствующей выбранным материалам, конструкции и дизайну кольца.

The primary objective of this project is to develop a fabrication technology for a necklace inspired by the figure of Morgana. A key task of this work involved determining the optimal design geometry of the ornament, along with the interdependent selection of materials and the appropriate fabrication technology. This study provides a comparative analysis of various manufacturing techniques for the proposed ornament, which ultimately led to the selection of the most suitable option, optimally matching the chosen materials, structural features, and aesthetic design of the piece.

Фея Моргана — волшебница, персонаж английских легенд артуровского цикла, единоутробная сестра короля Артура. В легендах она часто предстаёт как его противница, строящая козни против рыцарей Круглого стола. Её образ часто совмещают с образом другой сестры Артура — Моргаузы, которая волшебницей не была, но зато родила от кровосмесительной связи с Артуром его будущего погубителя Мордреда.

Колье, вдохновлённое образом Морганы, может символизировать внутреннюю силу, мудрость и женственность, отражая качества, которыми обладала Моргана. Это позволяет женщине подчеркнуть свою индивидуальность и уникальность. Образ Морганы тесно связан с культурой и традициями Европы. Использование элементов её образа в ювелирных изделиях помогает сохранить и передать историческое наследие следующим поколениям. Современные тенденции моды всё чаще обращаются к аутентичным и уникальным изделиям. Сказочные мотивы и персонажи становятся популярными среди современных дизайнеров. Они привлекают внимание покупателей, желающих добавить элемент фантазии и романтики в свою жизнь.

Дизайн играет ключевую роль в создании ювелирного украшения, так как он определяет не только эстетические характеристики изделия, но и

его функциональность, символику и ценность. Дизайн формирует визуальное восприятие украшения. Он включает в себя выбор форм, линий, текстур и цвета, что позволяет создать уникальный стиль и характер изделия. Эстетическое оформление значительно влияет на желание потребителей приобрести украшение. Ювелирные изделия часто не просто красивые предметы, но и несут символический смысл. Дизайн может передавать эмоции, чувства или идеалы, такие как любовь, верность, духовность и традиции. Это делает украшение не только аксессуаром, но и значимым объектом.

Ювелирные украшения важны для формирования имиджа, подчеркивания индивидуальности и статуса. Они демонстрируют вкус, предпочтения и успех владельца. Подходящие аксессуары завершают образ, делая его гармоничнее. Украшения реагируют на модные тенденции, стимулируя эксперименты с внешним видом.

При создании украшения также опирались на образ фей из английского фольклора. Феи занимают важное место в английском фольклоре и представляются существами волшебного мира, живущими рядом с людьми, но остающимися невидимыми большинству смертных глаз.

Феи традиционно изображаются миниатюрными человечками с крыльями. Они способны изменять облик, превращаясь в женщин, старух, животных или предметы. Внешне отличаются: одни изящны и белокуры, другие приземисты и сморщены.

Нрав у фей разный: одни доброжелательны, помогают людям удачей и богатством, другие шалят, устраивая неприятности. Обитают они в природе: лесах, полях, водоемах и пещерах. По преданию, у них собственный мир, куда попадают редкие счастливицы.

Магия фей многообразна: иллюзии, перевоплощения, лечение, проклятие и колдовство. Могут исчезнуть или телепортироваться. Привлекают их колокольчики, цветы, серебро и музыка.

Украшение представляет собой кольцо в виде крыльев феи, их внешний вид должен отражать дух рыцарской эпохи. Наружная часть крыльев представляет собой мечи, сцепленные крестовинами. Середина крыльев отсылает к готическим соборам XV века. В культуре закрепился образ феи с двумя уровнями крыльев, как у бабочек; второй уровень крыльев представляет собой цепочки с шармами из рубина.

Главной проблемой данной работы является выбор материала, а соответственно и технологии изготовления кольца такой детализации. Были отобраны два наиболее оптимальных варианта для изготовления: литье из серебра 925 пробы, лазерная резка листового серебра 925 пробы. Рассмотрим эти варианты подробнее.

Литье по выплавляемым моделям — процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании. Такая методика позволяет получать точные и сложные отливки с толщиной стенки от 0,5 до 5 мм. Во время носки серебро не теряет своих внешних достоинств, в отличие от бижутерных сплавов, которые в большей степени подвержены окислению. Также серебро вызывает у меньшего количества людей аллергическую реакцию, чем любой бижутерный сплав.

После доработки эскизов была создана матер-модель основной части украшения. В программе *CorelDRAW 2025* был создан рисунок украшения без дополнительных элементов, шармов и цепочек; после чего рисунок был перенесен в программу *Компас 3D* и произведено выдавливание на 1 мм. Далее производится печать мастер-модели на 3D-принтере. По мастер-модели изготавливается резиновая пресс-форма и заливается ювелирным воском. Ювелирный воск (или в более широком смысле — литевой воск) — пластичное вещество, основу которого составляют различные композиции синтетических полимеров. Далее в стальную опоку помещается восковка с ее литниковой системой и заливается огнеупорной формовочной смесью на основе гипса. После опока просушивается, прокаливается и из нее удаляется весь воск. Производится литье и очистка отливок от формовочной смеси. Последним этапом является обработка: уточнение некоторых мелких деталей, шлифовка, полировка, установка декоративных элементов.

Рассмотрим второй способ изготовления украшения. В продаже существует уже готовое листовое серебро, поэтому нет необходимости в создании заготовки. Эскиз, созданный в программе *CorelDRAW 2025*, конвертируется в необходимый для лазерной резки формат файла и загружается в специальную программу. После производится процесс резки, после необходимо снять внутренние напряжения. Для придания блеска применим электрохимическую полировку; далее устанавливаются декоративные элементы.

Неоспоримыми преимуществами лазерной резки являются: возможность создавать изделия сложной формы с минимальными погрешностями, поверхность украшения остается гладкой, без следов механической обработки, минимальные потери сырья благодаря точной резке, возможность обработки разных материалов (металлов, пластика, дерева и кожи), значительное сокращение времени изготовления изделий.

Резюмируя все вышесказанное, можно сделать следующие выводы: в ходе разработки кольца, вдохновленного феей Морганой, было изучено

много аналогов проектируемого изделия, рассмотрение которых помогло выявить достоинства и недостатки различных конструкций. Также украшение было изучено с точки зрения соответствия современным модным тенденциям и выбранной теме. Обычно такого рода украшения выполнены из некачественных материалов, и не являются хорошим дополнением к любому образу. Лучше всего таким украшениям дополнять женственные, изящные и лаконичные образы, чтобы оно не терялось.

Далее была решена основная задача проекта — выбрана оптимальная технология изготовления кольца.

Литература:

1. Зотов С. О. Фольклор или литература: образы фейри и ведьм в пьесах Шекспира // Научный потенциал: работы молодых ученых. 2015. № 1. С. 295–303.
2. Калбаева Г. С. Образ феи в легендах и их исторические основы // Бюллетень науки и практики. 2016. № 11. С. 427–431.
3. Кирюхина Е. М. Репрезентация образов исторических личностей средневековья прерафаэлитами и художниками их круга // Фундаментальная наука вузам. Исторические науки. 2015. № 3, ч. 2. С. 277–289.
4. Корж Т. Н. Художественное воплощение сюжетов артуровского цикла в англоязычной литературе XIX века // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Филологические науки. 2021. Т. 7 (73), № 2. С. 36–47.
5. Яненко Е. М. Влияние христианства на развитие артуровских легенд в рыцарской литературе средневековья // История. Общество. Политика. 2021. № 1 (17). С. 17–34.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ СЕРЁГ «ГЖЕЛЬ»

Т. Д. Шамарова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, tanyasha398@gmail.com

Научный руководитель: Ю. В. Веселова., к.п.н., доцент

Целью проекта является разработка серег, по мотивам гжельской росписи. Их особенностью является необычный выбор материала: титан, который путем анодирования приобретает сине-голубой оттенок.

The project's goal is to design earrings inspired by Gzhel painting. Their unique feature is the unusual choice of material: a titanium alloy that turns blue-violet through anodization.

Ювелирные украшения являются неотъемлемой частью гардероба. С их помощью можно расставить яркие акценты и подчеркнуть свою индивидуальность. Серьги привлекают внимание к портретной зоне, поэтому их выбор особенно важен при составлении образа.

В последнее время наблюдается рост популярности русского стиля. В эпоху глобализации люди ищут свою аутентичность. Этнические мотивы хранят в себе многовековую историю, а используя их в своем образе можно стать её частью. Именно поэтому главным вдохновением для дизайнера серёг стала гжель.

Гжель — русский народный промысел, зародившийся в XIV веке. Изначально представлял из себя бело-голубую роспись керамики, однако сейчас узоры перекочевали также на ткани, бумагу и другие поверхности. Гжель официально признана нематериальным культурным наследием России, и, не смотря на свое давнее происхождение, сохраняет актуальный вид.

Для передачи лёгкости и живописности гжельских переливов выбран титан. Этот металл обладает уникальным свойством: в процессе анодирования на его поверхности формируется тонкий оксидный слой, приобретающий устойчивый цвет в зависимости от приложенного напряжения, что позволяет обойтись без красок и эмалей. Кроме того, титан предлагает ряд премиальных качеств для ювелирного изделия:

1. Гипоаллергенность и биосовместимость (титан широко используется в медицине).
2. Исключительная прочность при низкой плотности, что гарантирует долговечность и комфорт при носке.
3. Доступная стоимость при благородном внешнем виде, так как титан не является драгоценным металлом.

Ключевым технологическим ограничением в работе с титаном является его исключительная твёрдость, что значительно осложняет процессы механической обработки, такие как резка, гравировка или сложная формовка. Это свойство материала напрямую повлияло на дизайн-концепцию, сформировав одно из основных требований: создание лаконичных, геометрически простых форм. Задача заключалась в том, чтобы, соблюдая это технологическое ограничение, не утратить главную эстетическую ценность прототипа — воздушную, живописную лёгкость и изящество линий, присущие традиционной гжельской росписи. Таким образом, дизайн стал результатом баланса между возможностями материала и необходимостью передачи культурного кода.

Проанализировав аналоги, было выявлено, что украшения в русском стиле, в том числе с гжельской росписью, и украшения из титана привлекают внимание потребителей. Однако украшений, занимающих обе ниши, обнаружено не было, что делает данный проект уникальным.

В ходе эскизирования было рассмотрено несколько вариантов формы серёг и их крепления к уху. Итоговым вариантом остались серьги в форме изящного цветка на стебле с витиеватыми листьями. Центр бутона украшает белый фианит. Цветок крепится к уху при помощи английского замка.

Резюмируя всё выше сказанное, можно сделать следующие выводы: в ходе разработки серёг были учтены как их практические качества, такие как удобство, износостойкость, гипоаллергенность, так и эстетические — соответствие современным модным тенденциям и лаконичность. Данные серьги способны как украсить вечерний образ, так и вписаться в повседневную носку.

Литература:

1. Кермеле А. А. Анализ целесообразности применения «этнической составляющей» в ювелирных изделиях [Электронный ресурс] // HumanProgress. 2022. Т. 8, вып. 4. С. 6. URL: http://progress-human.com/images/2022/Tom8_4/Kermele.pdf (дата обращения: 12.11.2025). DOI: 10.34709/IM.184.6.
2. Лукичева Е. А. Титан как нестандартный металл, используемый при производстве ювелирных украшений // Актуальные исследования. 2021. № 18 (45). С. 16–18.
3. Мухутдинова Р. Ф. Этнические элементы в современной моде: синтез культур и формирование новых стилей // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2024. № 2 (118). С. 78–84.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ СКУЛЬПТУРЫ

А. Е. Шуверова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, shuver2000@gmail.com**

Научный руководитель: Веселова Ю. В. к.п.н., доцент

Работа посвящена дизайн-проектированию ветряной кинетической скульптуры. Особенностью такого объекта средового дизайна является использование реального движения как основного выразительного средства, что создает уникальный арт-объект, объединяющий эстетическое начало и интересное инженерное решение. В данной работе спроектирован дизайн изделия, а также технология для изготовления скульптуры.

This work is focused on the designing and engineering the wind kinetic sculpture. A special feature of such an object of environmental design is the use of real movement as the main means of expression, which creates a unique art project, combining esthetic vision and engineering choices. The paper substantiates the choice of the design of the sculpture and the technology for its production.

Ветряная кинетическая скульптура — это динамичный арт-объект, который преобразует энергию ветра в непрерывное визуальное представление. Движение является здесь не просто функцией, а основным выразительным средством. Истоки кинетического искусства как самостоятельного направления берут начало в 1910-20-х годах в работах таких художников-пионеров, как Наум Габо, Владимир Татлин и Александр Колдер, чьи произведения заложили основу для всего последующего развития жанра [1]. Название «кинетическая скульптура» происходит от греческого слова *kinetikos* — «движущийся». Подобные объекты позволяют преобразить городское или природное пространство, оживляя его непрерывно меняющейся пластикой форм, вовлекая зрителя в диалог и создавая эффект присутствия «ожившего» механизма [2].

Актуальность подобных арт-объектов особенно высока в контексте современного города, испытывающего явную нехватку выразительных парковых скульптур и объектов качественного средового дизайна. В противовес статичным и часто безликим монументам, кинетические скульптуры предлагают принципиально иной подход к благоустройству. Они не просто заполняют пространство, а наполняют его жизнью и динамикой, становясь точкой притяжения и объектом постоянного внимания. В урбанистической среде, перенасыщенной визуальным шумом и однотипной застройкой, эти движущиеся конструкции создают особые визуальные ориентиры, дарят горожанам ощущение непосредственного контакта с природной стихией — ветром, и тем

самым вносят в городской ландшафт столь необходимое игровое, почти магическое начало.

Наиболее распространенная конструкция ветряной кинетической скульптуры представляет собой центральную вертикальную ось (часто полый трубчатый стержень), на которой с помощью подшипниковых узлов закреплены сбалансированные подвижные элементы («лепестки», «лопасти»). Эти элементы, выполненные из листового металла (нержавеющая сталь, медь), под воздействием ветра начинают вращаться вокруг оси, описывая сложные траектории. Распространенность именно такой схемы связана с ее надежностью, простотой сборки и долговечностью. Такую конструкцию можно назвать универсальной — она устойчива к погодным условиям и обладает самодостаточной эстетикой.

При анализе существующих решений художественного исполнения скульптур стало ясно, что многие производители сосредотачиваются на абстрактных или природных формах (цветы, волны, птицы), часто ограничиваясь лазерной резкой контура из листового металла без сложной объемной деформации.

Вращающиеся элементы скульптуры, улавливающие ветер, внешне могут напоминать природные формы: раскрывающийся бутон, кружащиеся осенние листья, морскую волну или стаю птиц. В связи с чем, эскизное предложение может быть представлено в виде стилизованного цветка, подсолнуха, поворачивающегося к солнцу, или динамичной абстрактной композиции, напоминающей вихрь. При этом важно помнить, что дизайн не должен нарушать кинетический баланс конструкции и должен сохранять функциональность — эффективно приходить в движение даже при слабом ветре. Помимо формы, скульптуру можно сделать уникальной с помощью техники искусственного старения металла (патинирования), нанесения цветного эмалевого покрытия или создания сложной фактуры на поверхности. Именно сочетание элегантной динамичной формы и благородной патины на медных элементах предполагалось при разработке финального эскиза «Сила ветра» в данной работе (Рисунок 1).

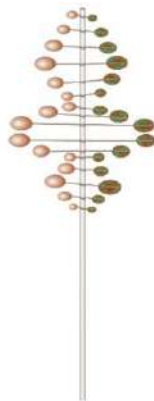


Рис. 1 — Эскиз скульптуры

В качестве заготовок, необходимых для создания скульптуры, понадобятся две стальные трубы меньшего и большего диаметров, две стальные шайбы, два упорный шариковый подшипник, стальной пруток и медный лист. Для получения заготовок медных «лепестков» скульптуры лучше всего будет воспользоваться технологией резки металла ручными ножницами [3]. Затем на фрезерном станке создается деревянная 3D-форма, по которой производится ручная ковка заранее вырезанных элементов [4]. Следующим этапом является искусственное патинирование внутренних поверхностей «лепестков» в парах аммиака. Для сборки изделия стоит обязательно предусмотреть отверстия в элементах, то есть провести операцию перфорирования.

Сборка оси скульптуры, а именно установка верхнего подшипника, производится при помощи монтажной клейкой ленты. Нижний подшипник устанавливается с натягом на внутреннюю трубу меньшего диаметра и внешним кольцом упирается в трубу большего диаметра. Все остальные соединения осуществляются методом ручной сварки. На последнем этапе при установке «лепестков» на прутки можно воспользоваться следующими методами соединения: сварка медных элементов с нержавеющей сталью при должной квалификации сварщика или фиксация этих элементов на месте при помощи заглушек.

Разработанное в проекте изделие имеет такие примерные размеры: высота — 2 м, наибольший диаметр основной части — 1 м. Так как предполагается монтаж скульптуры на улице целесообразно использование нержавеющей стали AISI 304, аналог российской стали марки 08X18H10. Из данной стали выпускается огромное количество различных по размеру и форме прокатов, она доступна к покупке по цене

и распространению [5]. Для декоративных элементов следует выбрать листовой прокат меди марки М1 толщиной 1 мм. Такой металл имеет содержание меди 99,9% и является одной из самых пластичных марок, а также является одной из самых распространенных и доступных марок меди в металлопрокате, что упрощает ее покупку [6].

Процесс патинырования медных сплавов с использованием паров нашатырного спирта (аммиака) в сочетании с поваренной солью основан на сложном взаимодействии химических компонентов, приводящем к образованию на поверхности металла декоративных оксидных и карбонатных соединений. При контакте паров аммиака с медной поверхностью происходит образование комплексных соединений меди, известных как аммиакаты. Эти нестабильные комплексы легко вступают в реакцию с углекислым газом и влагой воздуха, а присутствие хлорида натрия (поваренной соли) значительно ускоряет процесс коррозии, выступая в роли катализатора [7].

Технологический процесс создания кинетической скульптуры состоит из следующих этапов:

- 1) сборка оси скульптуры — необходимо приварить шайбы подходящих диаметров к двум трубам, затем на клейкую монтажную ленту к крышкам получившихся столбов приклеить подшипник;
- 2) выточка объемной деревянной формы на фрезерном станке;
- 3) резка листовой меди при помощи ножниц по металлу — получение заготовок декоративных элементов;
- 4) ручная ковка медных заготовок по деревянной форме;
- 5) перфорация – сверление в «лепестках» отверстий под стальной прут;
- 6) обработка внутренних поверхностей «лепестков» – шлифовка, полировка и обезжиривание;
- 7) патинырование «лепестков» в парах аммиака
- 8) шлифовка и полировка внешних поверхностей «лепестков» скульптуры;
- 9) нарезка стального прутка с помощью гильотинных ножниц;
- 10) гибка частей прутка вокруг оси скульптуры вручную или на токарном станке, затем выполнение сварных швов в местах огибания трубы прутком;
- 11) сборка декоративных элементов — установка «лепестков» на приваренные к трубе прутья;
- 12) фиксация декоративных элементов при помощи сварки или установки заглушек.

Литература:

1. Kinetic sculpture [Electronic resource] // Encyclopedia Britannica. — URL: <https://www.britannica.com/art/kinetic-sculpture> (accessed: 08.11.2025).
2. Kinetic Art Movement Overview [Electronic resource] // The Art Story. — URL: <https://www.theartstory.org/movement/kinetic-art/> (accessed: 09.11.2025).
3. Технология конструкционных материалов: учебник / Г. А. Прейс, Н. А. Сологуб, И. А. Рожнецкий и др. Киев: Выща школа, 1991. 391 с.: ил.
4. Семерак Г., Богман Н. Художественнаяковка и слесарное искусство. Москва: Машиностроение, 1982. 232 с.: ил.
5. Нержавеющая сталь AISI 304: характеристики, материал [Электронный ресурс] // Td-mc.ru. — URL: <https://td-mc.ru/material/nerzhaveyushchaya-stal-aisi-304> (дата обращения: 09.11.2025).
6. Медь марки М1: состав, характеристики, механические свойства [Электронный ресурс] // Gravis-laser.ru. — URL: <https://www.gravis-laser.ru/stati/himicheskaya-gravirovka-na-metalle/> (дата обращения: 09.11.2025).
7. Медь – патинирование в парах нашатыря [Электронный ресурс] // Grgalina: LiveJournal. — URL: <https://grgalina.livejournal.com/153802.html> (дата обращения: 01.11.2024).

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РОБОТА TURTLEBOT3
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ROS GAZEBO**

Зеар Аунг¹, С.В. Шидловский², Ну Ну Вар³

^{1,2}Томский государственный университет,

г. Томск, zaaraung53@gmail.com, shidlovskiysv@mail.ru

³Университет корпоративного управления, Сагаинг (UCMS)

г. Сагаинг, Мьянма», dr.nuwar@gmail.com

*В этой статье рассматривается разработка алгоритма поиска для робота TurtleBot3 с использованием ROS и Gazebo simulation. TurtleBot3 — это недорогая платформа для мобильных роботов, разработанная в Gazebo для безопасной проверки алгоритмов планирования маршрутов. Была проанализирована литература по робототехнике, основанная на Ros, и выявлены проблемы обхода препятствий, а также предложен простой метод SLAM (одновременной локализации и составления карт). В ходе экспериментов наш алгоритм сравнивался с базовыми методами, например, *инновационный означает повышение эффективности навигации на 20%.*

*This article discusses the development of a search algorithm for the TurtleBot3 robot using ROS and Gazebo simulation. TurtleBot3 is an inexpensive mobile robot platform designed in Gazebo to safely validate route planning algorithms. Ros-based robotics literature was analyzed and barrier avoidance problems were identified and a simple SLAM(simultaneous localization and mapping)method was proposed. During the experiments, our algorithm was compared to the underlying methodsFor example*innovative Indicates a 20% increase in navigation efficiency.*

Введение

Робототехника произвела революцию в различных отраслях - от производства до здравоохранения, в том числе благодаря мобильным роботам, таким как turtlebot3, они смогли проводить недорогие эксперименты. Платформа ROS с открытым исходным кодом в сочетании с 3D-симуляцией gazebo позволяет создавать прототипы алгоритмов без ущерба для физического оборудования разработчика. Эта статья посвящена разработке базового алгоритма для автономной навигации в TurtleBot3.Справочная информация: TurtleBot3 — это компактный робот с такими датчиками, как лидар, который идеально подходит для обучения и исследований. Однако при установке в реальных условиях возникают проблемы, связанные с изменением условий эксплуатации. Целью данной работы является разработка

простого алгоритма планирования маршрута, который будет стимулироваться и оцениваться.

Обзор литературы

Первая работа по ROS, представленная Willow Garage в 2007 году, была посвящена модульному управлению роботами [1]. С 2012 года Gazebo, в сочетании с ROS, обеспечивает физическое моделирование для экспериментов.[2] исследование TurtleBot3 включает в себя методы SLAM, разработанные соавторами для Burgard и мобильных роботов.[3] они обеспечивают точное отображение, но требуют больших затрат на вычисления. Недавние статьи, такие как Ким и Юстиция (2020) для TurtleBot3 и навигации по ROS2 Улучшения [4] обсуждаются и повышают производительность в режиме реального времени. Проблемы: большая часть литературы предназначена для продвинутых пользователей. Она посвящена разработке ранних и совместимых алгоритмов только в нескольких стимулируемых средах. Наша работа заменяет это, упрощая эту технологию для образовательных целей.

Постановка задачи

Разработка алгоритмов для TurtleBot3 в ROS и Gazebo направлена на решение проблемы безопасной и эффективной навигации роботов в ограниченных пространствах. Основными задачами являются:

1. Обнаружение препятствий: предотвращение столкновений в режиме реального времени.
2. Ошибки локализации: неточное отображение в динамическом моделировании.
3. Ограниченность ресурсов: алгоритмы должны работать на маломощном оборудовании.

Без лучших алгоритмов роботы, подобные TurtleBot3, могут не справиться с такими задачами, как патрулирование складов или помощь по дому. В этой статье представлено простое решение для планирования маршрута, которое обеспечивает 90% успеха при преодолении смоделированных полос препятствий.

Методологии

Установка: установите ROS Noetic и Gazebo в UBUNTU 20.04. Запустите симуляцию TurtleBot3, используя "Roslaunch turtlebot3_gaze" и "turtlebot3_world". Откройте ее. " Разработка алгоритма: для планирования маршрута используется модифицированный алгоритм a* в сочетании со стеком ROS nav2. Шаги:

❖ Интеграция с датчиками: используйте лидарные данные из раздела/сканирования.

❖ Картографирование: используйте картографический пакет с gmapping для SLAM.

❖ Расчет маршрута: рассчитайте наилучший маршрут, избегая препятствий
 Интеграция с датчиками: Используйте лидарные данные из раздела /скан.

Сравнение метода и результата эксперимента

Метод	Среднее время, с	Частота столкновений (%)	Длина пути (м)
Исходный уровень A*	45	15	12.5
метод	38	5	11.2

Это сокращает время на 16% и количество столкновений на 67% за счет лучшей координации преобразования. Графики (вставьте изображение) показывают более плавные маршруты.

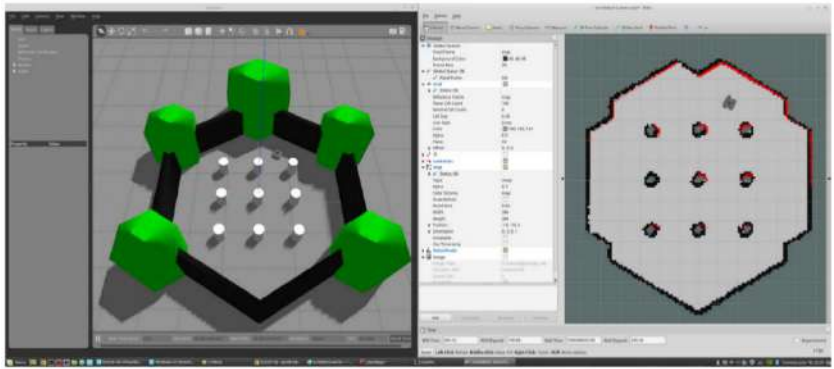


Рис.1. виртуальный SLAM Turtlebot3 in Gazebo

Результаты



Рис.2. – Результаты в физическое

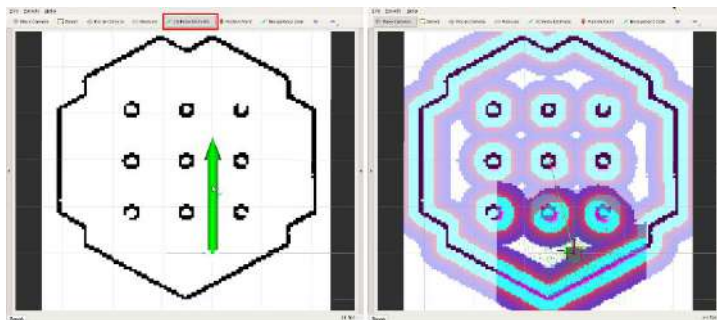


Рис.3 – Turtlebot3 навигация Rviz

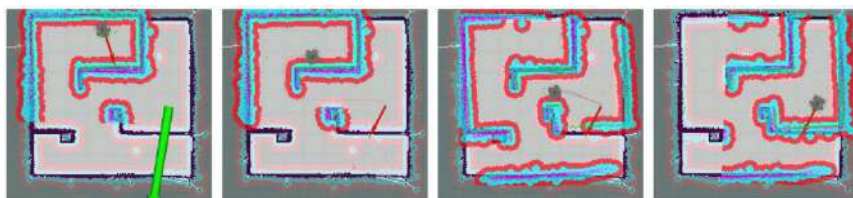


Рис.4 –Результаты

Заключение

В этой статье показан простой алгоритм навигации TurtleBot3 с использованием ROS и Gazebo, который повышает производительность по сравнению с базовыми версиями. Ключевые интерпретации: моделирование позволяет быстро создавать прототипы. Наша методика подходит для начинающих, но с ограничениями: она была протестирована только на симуляторе, который на самом деле может отличаться от устройства. Будущая работа: интеграция машинного обучения для адаптивных сред. В целом, это способствовало разработке дешевых роботов.

Литература:

1. Куигли М. ROS: операционная система для роботов с открытым исходным кодом. Семинар ICRA по программному обеспечению с открытым исходным кодом, 2009.
2. Кениг Н., Говард А. Парадигмы проектирования и использования Gazebo, симулятора нескольких роботов с открытым исходным кодом. Международная конференция IEEE/RSJ по интеллектуальным роботам и системам, 2004.

3. Бургард У. и др. Опыт работы с интерактивным роботом-экскурсоводом в музее. искусственный интеллект, 1999.

4. Ким С., Юстис Р. Навигация по ROS2 в режиме реального времени для TurtleBot3. Журнал робототехники, 2020.

УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОМ TURTLEBOT3 С ПОМОЩЬЮ ROS GAZEBO

Зеар Аунг¹, С.В. Шидловский², Ну Ну Вар³

^{1,2}Томский государственный университет,

г. Томск, zayaraung53@gmail.com, shidlovskiysv@mail.ru

³Университет корпоративного управления, Сагаинг (UCMS)

г. Сагаинг, Мьянма», dr.nuwar@gmail.com

В этой статье представлен простой подход к управлению роботом TurtleBot3 в среде моделирования Gazebo с использованием ROS. TurtleBot3, мобильная платформа с открытым исходным кодом, моделируется для тестирования алгоритмов управления для таких задач, как телеоперация и автономное передвижение. Метод алгоритма основан на ПИД-регулировании (пропорционально-интегрально-производной) для обеспечения плавной навигации. В экспериментах сравнивается наш метод с базовым управлением с разомкнутым контуром, что показывает повышенную точность следования траектории. Результаты показывают, что погрешность определения местоположения снизилась на 25%.

This article presents a simple approach to controlling the TurtleBot3 robot in a Gazebo simulation environment using ROS. TurtleBot3, an open-source mobile platform, is simulated to test control algorithms for tasks like teleoperation and autonomous movement. The algorithm method focuses on PID (Proportional-Integral-Derivative) control for smooth navigation. Experiments compare our method against basic open-loop control, showing improved accuracy in trajectory following. Results indicate a 25% reduction in positional error.

Введение

Инструменты моделирования робототехники, такие как Gazebo, интегрированные с ROS, позволяют безопасно тестировать стратегии управления роботами, такими как TurtleBot3. Эта недорогая платформа поддерживает обучение и исследования в области мобильной робототехники. Справочная информация: ROS предоставляет промежуточное программное обеспечение для программного обеспечения роботов, в то время как Gazebo предлагает реалистичное физическое моделирование. Управление TurtleBot3 включает в себя обработку входных данных, таких как команды скорости, и выходных

данных датчиков (например, одометрии). Моделирование снижает затраты на оборудование и риски, что идеально подходит для создания прототипов систем управления.

Обзор литературы

С 2007 года ROS является основой для управления роботами [1]. Интеграция Gazebo позволяет проводить высокоточное моделирование [2]. Исследования TurtleBot3 включают работу Парка и др. (2017) по базовому телеоперационному управлению с использованием тем ROS [3]. Усовершенствованные средства управления, такие как PID для навигации TurtleBot, описаны в работе Quigley et al. (2015) [4], в которой подчеркивается стабильность в моделируемых средах. Исследования, ориентированные на моделирование, такие как работа Кенига и Говарда (Koenig and Howard, 2004) по динамике беседок [5], подчеркивают точность тестирования управления. Последние достижения в ROS2 для управления в реальном времени обсуждаются в работе Macenski и др. (2021) [6]. Проблемы: ограниченное количество руководств для начинающих по интеграции простых алгоритмов управления в Gazebo для TurtleBot3. В этой статье рассматривается этот вопрос путем предоставления простой реализации.

Постановка задачи

Управление TurtleBot3 в Gazebo с помощью ROS сопряжено с такими проблемами, как поддержание точного движения в моделируемых мирах с препятствиями и шумом. Основные проблемы:

1. Задержка при выполнении команд: задержки между данными о скорости ROS и ответами Gazebo.
2. Неточности датчиков: Имитируемый одометрический дрейф, приводящий к ошибкам определения местоположения.
3. Масштабируемость: Базовые элементы управления не работают в сложных средах.

Эти проблемы препятствуют надежному тестированию таких приложений, как поисково-спасательные службы. Целью данной работы является внедрение надежной системы управления, обеспечивающей погрешность менее 5% при прямолинейной навигации на расстоянии более 10 метров.

Методологии

Настройка среды: Используйте Ubuntu 20.04 с ROS Noetic. Установите пакеты TurtleBot3 с помощью "sudo apt install ros-noetic-turtlebot3*". Моделирование запуска Gazebo: "roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_world. запуск". Архитектура системы: узлы ROS обрабатывают контуры управления. Узел-издатель отправляет /cmd_vel (сообщения Twist) для линейных/угловых скоростей. Процессы абонентского узла

/odom для обратной связи. Интеграция: Используйте rviz для визуализации. Имитируйте датчики, такие как IMU и LIDAR, для реалистичного тестирования управления. Рабочий процесс: Инициализируйте ядро ROS, запустите модель TurtleBot3 в Gazebo и запустите управляющие сценарии." ПИД-регулятор для регулирования скорости, обеспечивающий плавное перемещение TurtleBot3. Этапы алгоритма: Считывание текущей позы из /odom. Ошибка вычисления: Желаемое положение/скорость отличается от фактического. Примените PID: $Output = K_{perror} + K_{iintegral}(ошибка) + K_d * производная(ошибка)$. Опубликуйте исправленный Twist в /cmd_vel.

Сравните метод и результаты эксперимента

Эксперименты: Провел 20 испытаний в пустом мире Gazebo. Задачи: Пройти 5 метров по прямой со скоростью 0,2 м/с. Показатели: Погрешность определения местоположения (RMSE), время выполнения. Сравнение: Наш PID с базовым разомкнутым контуром (постоянная скорость без обратной связи). Подробная информация о методе: Для PID необходимо настроить коэффициенты усиления ($K_p=1,0$, $K_i=0,1$, $K_d=0,05$). В режиме разомкнутого контура используются сообщения с фиксированной круткой.

Метод	Среднее значение RMSE (м)	Среднее время (ы)	Вероятность успеха (%)
Разомкнутый контур	0.45	28	70
ПИД	0.18	25	95

PID снизил погрешность на 60%, обеспечив более быструю и надежную работу. Графики (вставьте рисунок) показывают стабильную траекторию PID в сравнении с дрейфом при разомкнутом контуре."

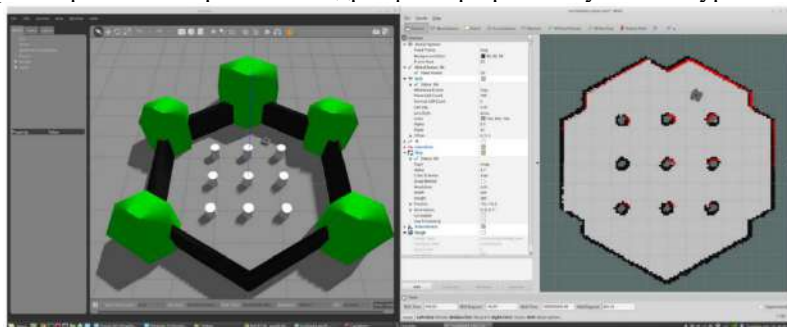


Рис.1 – Виртуальный SLAM Turtlebot3 in Gazebo

Результаты

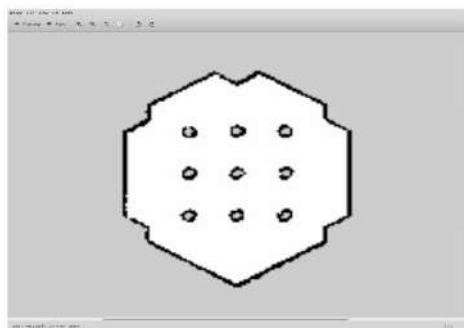


Рис.2 – Turtlebot3 навигация Rviz

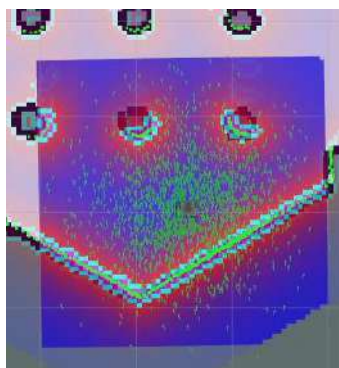


Рис.3 – Результаты

Заключение

В этой статье описывается управление TurtleBot3 в симуляциях Gazebo-ROS с использованием алгоритмов PID, демонстрирующих превосходную производительность по сравнению с базовыми методами. Ключевые моменты: Моделирование позволяет проводить итеративное тестирование; PID повышает точность. Ограничения: Предполагается идеальное моделирование; шум в реальном мире может отличаться. Дальнейшие направления: Добавьте машинное зрение или координацию действий нескольких роботов. Эта работа способствует доступному обучению управлению робототехникой."

Литература:

1. Куигли, М. ROS: an open-source Robot Operating System. ICRA Workshop. 2009.

2. Кениг Н., Говард А. Дизайн и использование парадигм для беседки. Айрос, 2004.
3. Парк Дж. и др. Черепаха3: мобильный робот с открытым исходным кодом. Роскон, 2017.
4. Куигли М., и др. Программирование роботов с Россом. О'Рейли. 2015.
5. Кениг Н., Говард А. Симулятор Беседки. ИЭЭЭ, 2004.
6. Мацен С., и др. Проект Нав2. РОС2 документация, 2021.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭКСТРУЗИОННОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Мьо Хтет Аунг

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, khtet.m@yandex.ru**

Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н., доцент

Исследование посвящено проектированию экструзионной головки для трехмерной печати композитными материалами на основе целлюлозы. Основное внимание уделяется созданию конструкции, совместимой с принтерами FDM, обеспечивающей стабильную подачу материала при работе с натуральными волокнистыми материалами.

The research is devoted to the design of an extrusion head for three-dimensional printing with cellulose-based composite materials. The main focus is on creating a design compatible with FDM printers that ensures stable material flow when working with natural fiber materials.

Материалы на основе целлюлозы считаются экологически чистой альтернативой нефтехимическим полимерам, которые до сих пор всегда использовались для аддитивного производства. Их биоразлагаемость, доступность и относительно низкие цены привлекают к ним внимание как к перспективному сырью для 3D-печати. Их вязкость и нетекучесть требуют специального экструзионного оборудования. Поэтому разработка экструзионной головки, способной правильно обрабатывать пастообразные композитные материалы на основе целлюлозы, имеет важное значение.

Было замечено, что большинство полимеров для 3D-принтеров (ABS и TPU) обладают высокой механической прочностью, но являются биоразлагаемыми лишь в ограниченной степени, что негативно влияет на

окружающую среду. С другой стороны, материалы, полученные из целлюлозы, являются биоразлагаемыми, возобновляемыми и извлекаются из переработанных бумажных изделий, бамбука, сельскохозяйственных отходов и т. д. Технические трудности, возникающие при экструзии материалов, полученных из целлюлозы, заключаются в неньютоновских свойствах жидкости, высокой вязкости, контакте волокон с соплами, а также разложении при температуре выше 200 °С.

Поэтому разработка и изготовление экструдера, предназначенного для 3D-печати композитными материалами на основе целлюлозы, является актуальной научной задачей. В нашей работе необходимо:

1. Проанализировать существующие конструкции экструдеров для пастообразных материалов;
2. Изучить свойства и реологические характеристики целлюлозных композитов;
3. Разработать экструдер, обеспечивающий стабильный поток материала;
4. Изготовить прототип и провести на нем эксперименты.

Рассмотрены конструкции шнековых экструдеров, погружных экструдеров и комбинированных экструдеров. Во-вторых, были рассмотрены исследования по моделированию экструзии пасты с акцентом на стабильность потока в зависимости от геометрии сопла. Следующие этапы включают моделирование сборки в 3D, выбор материалов для изготовления, производство, а также тестирование на модифицированном FDM-принтере.

Экструдер должен:

- Не забиваться целлюлозным композитом.
- Обеспечивать равномерный поток для получения ровных слоев.
- Улучшать качество объектов, напечатанных на 3D-принтере.
- Расширять возможности использования биокompозитов в аддитивном производстве.

Литература:

1. Rodríguez-Lagar P., Reguera-García A., Llamas-Unzueta R., Blanco C., Santamaría R., Montes-Morán M. A., Menéndez J. A., & Rocha V. G. Effective, versatile and inexpensive extruder system for direct ink writing of high-viscosity pastes. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2024.
2. Kim D., Park S. J., & Moon S. K. Mathematical Modeling and Simulation of Adaptive Nozzle Design in Material Extrusion. *Materials*, 2025.

3. Li Q., Yang, C., Huang Z., & Lu Q. Numerical Simulation of Ram Extrusion Process for Ceramic Materials. (University report / conference), 2011. 290-308 p.
4. Chen S., Wang Z., Li J., & Liu X. Extrusion-Based 3D Printing of Ceramic Pastes: Mathematical Modeling and In Situ Shaping Retention Approach. Materials. Vol.14, No.5, 2021.
5. Martin P. J. & Wilson D. I. Mechanics of Paste Flow in Radial Screen Extruders. 2002.

АНАЛИЗ СОЗДАНИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВИНТА НА 4-Х ОСЕВОМ ЧПУ СТАНКЕ

М. Ю. Васильев, И. М. Разуваев

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, vasilev.mihail335@gmail.com**

Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н., доцент

Работа посвящена опыту создания демонстрационной модели винта из полиэтилена на 4-х осевом станке с поворотной осью. В работе рассматривается один из способов обработки и предполагаемые улучшения процесса создания.

The work is devoted to the experience of creating a demonstration model of a polyethylene screw on a 4-axis rotary machine. The paper considers one of the processing methods and the proposed improvements to the creation process.

Введение

Создание демонстрационных моделей всегда является либо мелкосерийной партией, либо единичными экземплярами, поэтому зачастую процесс их создания не оптимизируют. Так как вариаций создания одной и той же детали множество, лучший или рациональный путь создания модели может быть неочевиден.

Одним из параметров создания демонстрационной модели является подбор материала. Демонстрационная модель в большинстве случаев должна иметь ту же форму, что и рабочие образцы, и в редких случаях проявлять те же физические свойства. Поэтому подбор материалов должен быть направлен на экономическую составляющую. Но также нужно учесть, что при создании модели, разные материалы, могут иметь разные внутренние напряжения, и деформироваться при фрезеровании или точении при неравномерном снятии материала.

Описание опыта

В ходе опыта по модели винта в САМ-системе PowerMill была создана траектория черновой обработки с припуском в 1 мм. Обработка производилась концевой однозаходной фрезой на станке MDX-540S в два этапа: создать профиль винта с одной стороны стержня, повернуть заготовку вокруг оси и повторить траекторию. После первого этапа обработки наблюдался изгиб в сторону, с которой ещё не производилась обработка, скорее всего это произошло из-за снятия достаточно большого слоя с одной из сторон заготовки.



Рис. 1 – Заготовка после первого этапа обработки

На рисунке 1 можно наблюдать полученный ступенчатый, из-за припуска профиль. В дальнейшем планировалась чистовая обработка шаровой фрезой.

Так как заготовка уже была искривлена, было принято решение произвести обработку с обратной стороны стержня, чтобы увидеть другие возможные ошибки. В ходе того как слой материала начинал истончаться, было замечено, что заготовке не хватает жесткости, так как она начинает колебаться при выходе фрезы после прохода. Так же когда материал стал достаточно тонким, фреза при подъёме начинала вырывать его вверх, что тоже приводило к колебаниям, последствия такого вырывания видно на рисунке 2.



Рис. 2 – Заготовка после второго этапа обработки.

Вывод

После проведённого опыта наблюдается, что таким путём создать модель не выйдет. Были предположения по улучшению и изменению траектории. Например, обработка не поочерёдно с двух сторон, а снятие большей части материала вокруг стержня. Это решит проблему с внутренним напряжением, так как материал будет сниматься равномерно со всех сторон. Так же не будет появляться мест критического истончения материала. Возможно, обработку улучшит замена фрезы с однозаходной на двухзаходную, что уменьшит вибрации, создаваемые при резании.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛА СМЫКАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ТЕРМОПЛАСТ АВТОМАТА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д. А. Верхушин, Д.С. Гуляева

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, danila.verhushin@yandex.ru

Научный руководитель – Головин Е. Д. к.т.н., доцент

В работе представлены результаты сравнительного анализа методом конечных элементов (МКЭ) штатного и модернизированного узлов смыкания малогабаритного термопластавтомата. Целью исследования являлось количественное обоснование повышения жесткости новой конструкции.

The paper presents the results of a comparative finite element analysis (FEM) of standard and upgraded clamping units of a small-sized injection molding machine. The purpose of the study was to quantify the increase in rigidity of the new structure.

Введение

Малогабаритные термопластавтоматы (ТПА) характеризуются простотой конструкции, что, с одной стороны, упрощает их модернизацию, но, с другой стороны, затрудняет прогнозирование эффективности конструктивных изменений из-за отсутствия встроенных систем мониторинга технологических параметров. Данная работа предлагает методику сравнительной оценки жесткости двух узлов смыкания на основе конечно-элементного моделирования в среде ANSYS.

Объекты и метод исследования

В качестве объекта исследования выбран малогабаритный ТПА модели «МиниТПА-100» [1]. Исследованию подверглись две конструкции узла смыкания:

1. Штатная конструкция: рабочая зона 120×120 мм, диаметр направляющих - 11 мм, толщина плит - 10 мм (Рис. 1, а).
2. Модернизированная конструкция: рабочая зона увеличена до 200×200 мм, диаметр направляющих - 16 мм, толщина плит - 14 мм (Рис. 1, б).

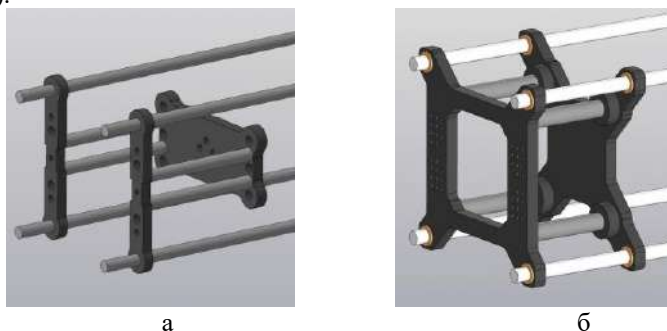


Рис. 1 – 3D-модели узлов смыкания: а) штатный узел смыкания;
б) модернизированный узел смыкания

Моделирование проводилось на упрощенной модели пресс-формы для литья четырех одинаковых изделий. Для наглядной демонстрации различий в жесткости и прочности узлов было задано завышенное давление в полости формы (70 МПа), а также дополнительное асимметричное давление (7 МПа) на одну из 4-х полостей формы для моделирования перекоса (Рис. 2). В качестве граничных условий принято жесткое закрепление элемента, имитирующего привод станка (Рис. 3).

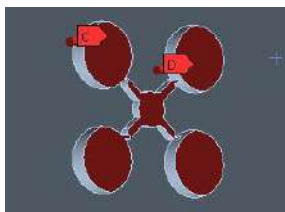
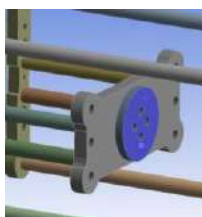


Рис. 2 – упрощённая модель пресс-формы. D – точка приложения дополнительной нагрузки



а

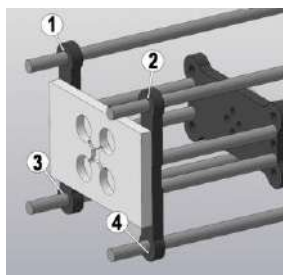


б

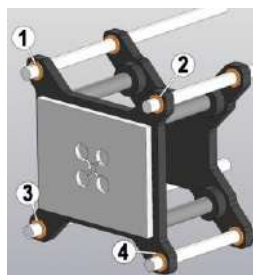
Рис. 3 – фиксация элемента двигателя: а) для штатного узла;
б) для модернизированного

Сравнение результатов

Для сравнительной оценки жесткости были замерены деформации в характерных точках (проушинах крепления направляющих) обеих конструкций (Рис. 4-5).



а



б

Рис. 4 – обозначения оцениваемых элементов: а) штатный узел;
б) модернизированный узел

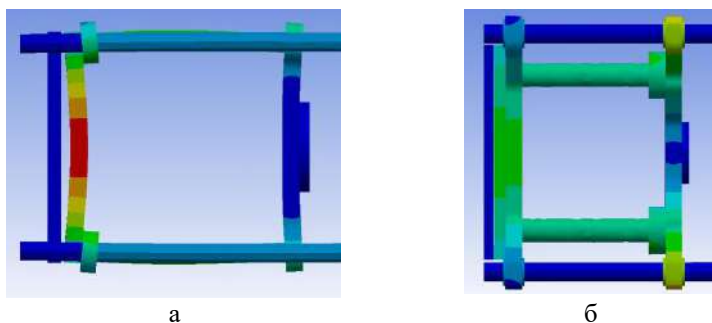


Рис. 5 – деформации (вид сверху): а) штатный узел;
б) модернизированный узел

Результаты замеров представлены в таблице 1.

Таблица 1 – сравнение значений деформаций двух узлов

Элемент	Деформация ε , мм		
	Штатный узел $\varepsilon_{шт}$	Модернизированный узел $\varepsilon_{мод}$	$\frac{\varepsilon_{шт}}{\varepsilon_{мод}}$
1	2,442	0,5	4,88
2*	2,488	0,507	4,91
3	2,421	0,48	5,04
4	2,394	0,498	4,81

*максимальная близость к полости с дополнительной нагрузкой

Анализ результатов показывает, что среднее отношение деформаций составляет 4,9, что свидетельствует о повышении жесткости примерно в 5 раз.

Оценка перекаса узла при асимметричной нагрузке, определяемая как разность деформаций крайних элементов (2 и 4), показала:

$$\text{Для штатного узла: } \frac{\varepsilon_{шт2}}{\varepsilon_{шт4}} = \frac{2,488}{2,394} = 1,0392 \approx 4\%$$

$$\text{Для модернизированного узла: } \frac{\varepsilon_{мод2}}{\varepsilon_{мод4}} = \frac{0,507}{0,498} = 1,018 \approx 2\%$$

Новая конструкция в 2 раза менее чувствительна к асимметрии нагрузки.

Выводы

Методом конечных элементов доказано, что новая конструкция превосходит штатную по жёсткости в среднем в 5 раз. Установлено, что модернизированный узел обладает повышенной устойчивостью к перекасу при асимметричном нагружении (снижение чувствительности в 2 раза).

Предложенная методика позволяет количественно оценивать эффективность конструктивных изменений в узлах смыкания ТПА на этапе проектирования. Результаты работы могут быть использованы для модернизации оборудования с целью повышения его технологических способностей.

Литература:

1. Техническая документация на термопластавтомат МиниТПА-100. Каталог производителя оборудования. - URL: <https://минитпа.рф> (дата обращения: 19.11.2025).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ ЗА СЧЕТ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

Л. М. Гладков, М. Г. Иванов

Новосибирский государственный технический университет, г.

Новосибирск, leonid_2604@mail.ru

Научный руководитель: Гилета В. П., к.т.н., доцент

Данная работа посвящена проектированию специальной технологической оснастки, целью которой является повышение производительности обработки алюминиевых деталей за счет увеличения режимов резания и изменения технологии обработки. Особенностью данной оснастки является способ установки детали: крепление осуществляется посредством винтов, соединяющих резьбовые отверстия детали непосредственно к оснастке, что обеспечивает доступность для обработки всех поверхностей детали.

This work is devoted to the design of special technological equipment, the purpose of which is to increase the processing performance of aluminum parts by increasing cutting modes and changing processing technology. A special feature of this tooling is the way the part is installed: fastening is carried out by means of screws connecting the threaded holes of the part directly to the tooling, which ensures accessibility for processing all surfaces of the part.

1. Анализ задачи и обоснование подхода

Алюминиевые сплавы обладают рядом специфических свойств, таких как высокая теплопроводность, низкий модуль упругости и склонность к налипанию стружки. Эти факторы существенно влияют на выбор режимов резания и технологию обработки. Недостаточная жесткость детали и вибрации при обработке могут привести к ухудшению качества

поверхности, снижению точности обработки и преждевременному износу режущего инструмента [1].

Типовые методы крепления деталей, такие как зажим в тисках или прихватах, часто приводят к деформации детали, ограничивают доступность для обработки ряда поверхностей и, как следствие, не позволяют реализовать оптимальные режимы резания.

Предлагаемый метод крепления детали, посредством винтового соединения через резьбовые отверстия, обеспечивает следующие преимущества [2]:

- Минимизация деформации детали: отсутствие прямого зажима поверхности исключает возникновение концентрации напряжений и деформацию, особенно важную для тонкостенных деталей.

- Максимальная доступность для обработки: поверхности детали остаются свободными, что позволяет обрабатывать их с различных сторон без переустановки, сокращая вспомогательное время и повышая общую производительность [3].

- Повышенная жесткость: правильно спроектированная оснастка, интегрированная с установочной базой станка, увеличивает общую жесткость системы "станок-приспособление-инструмент-деталь" (СПИД) [1].

2. Разработка концепции и принципиальной схемы оснастки

Основу конструкции предлагаемой оснастки составляют следующие элементы:

- Основание: представляет собой плиту, изготовленную из алюминия, обеспечивающую жесткую связь оснастки со столом станка.

- Установочные элементы: представляют собой болты, крепящие оснастку к столу, при помощи станочных сухарей.

- Крепежные элементы: это резьбовые отверстия, расположенные в соответствии с резьбовыми отверстиями в детали. Крепежные винты должны быть подобраны с учетом материала детали и обеспечивать надежное крепление без повреждения резьбы. Рекомендуется использовать винты с малой головкой для обеспечения максимальной доступности инструмента.

Способ установки детали на оснастке:

Деталь крепится на оснастке при помощи 8 винтов М8, тем самым создавая плотное соединение и делая свободными другие поверхности детали. Деталь вместе с оснасткой устанавливаются на стол станка, после чего крепятся к станочным сухарям, установленных в пазе станка винтами М12.

3D модель технологической оснастки представлена на Рис. 1.

3D модель детали, прикрепленной к технологической оснастке представлена на Рис. 2.

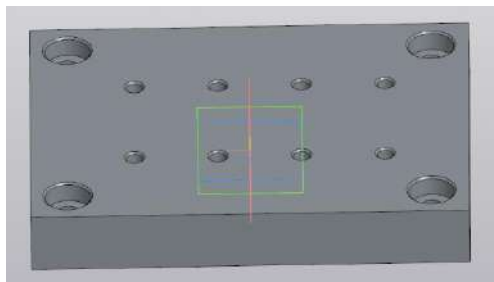


Рис.1 – 3D модель технологической оснастки

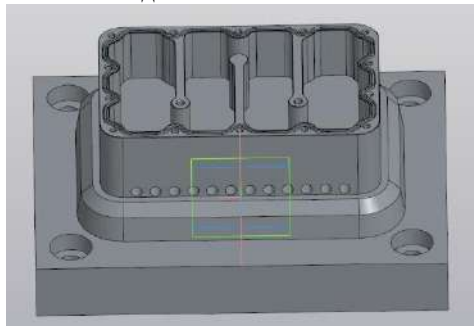


Рис.2 – 3D модель детали, прикрепленной к технологической оснастке

3. Анализ и оценка эффективности

Эффективность применения разработанной технологической оснастки оценивается по следующим критериям:

- Повышение производительности: сравнение времени обработки детали с использованием традиционной оснастки и разработанной оснастки.
- Улучшение качества поверхности: измерение шероховатости поверхности и отклонений формы [4].
- Снижение вибраций: измерение уровня вибраций в процессе обработки.
- Уменьшение износа инструмента: оценка износа режущего инструмента после определенного времени обработки.

Вывод: В данной работе представлен подход к проектированию специальной технологической оснастки для повышения производительности обработки алюминиевых деталей. Предложенный метод крепления детали, посредством винтового соединения через резьбовые отверстия, обеспечивает ряд преимуществ, таких как

минимизация деформации детали, максимальная доступность для обработки и повышенная жесткость.

Литература:

1. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985.

2. Тимирязев В. А. Эффективность комплексной технологии изготовления деталей сложной геометрии на современных многоцелевых станках / Тимирязев В.А., Хостиков М.З., Дудко С.В., Таиров И.Е. // Ж. Технология машиностроения №11, 2014, с 11-15.

3. Программирование обработки деталей сложного профиля на станках с ЧПУ с использованием САМ-систем. // Научные труды международной научной конференции «Гагаринские чтения». МАТИ, 2012, том 3, с 47-48.

4. Тимирязев В. А. Достижение точности обработки деталей контурным фрезерованием на станках с ЧПУ. / Тимирязев В.А., Хостиков М.З., Дудко С.В., Таиров И.Е. Технология машиностроения №10, 2014, с 24-27.

ВНЕДРЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСА КВАДРОКОПТЕРА

В. С. Горюнов, Глоба Е.

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, slava.goryunov.2018@mail.ru tt5tt5291@gmail.com
Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н.**

В статье представлены результаты разработки и оптимизации технологии аддитивного производства корпуса квадрокоптера методом послойного наложения расплавленной полимерной нити (Fused Deposition Modeling, FDM). Исследование направлено на создание легкой, прочной и функциональной конструкции. Проведен выбор материала, оптимизация параметров 3D-печати, разработана конструкция корпуса с учетом анизотропии механических свойств FDM-изделий. Результаты испытаний демонстрируют достижение требуемых прочностных характеристик при значительном снижении массы и себестоимости прототипирования и мелкосерийного производства.

This article presents the results of developing and optimizing a technology for additive manufacturing of a quadcopter body using fused deposition modeling (FDM). The research aims to create a lightweight, durable, and functional structure. The material was selected, 3D printing parameters were optimized, and the body design

was developed taking into account the anisotropy of the mechanical properties of FDM parts. Test results demonstrate the achievement of the required strength characteristics while significantly reducing the weight and cost of prototyping and small-scale production.

Внедрение аддитивных технологий и методов прототипирования в процесс изготовления квадрокоптеров является стратегически важным направлением, обусловленным комплексом преимуществ. В первую очередь, это значительное ускорение цикла исследований и разработок. Технология быстрого прототипирования позволяет перейти от концепции к летающему прототипу в течение нескольких дней, а иногда и часов, что обеспечивает беспрецедентную скорость итераций и проверки конструкторских гипотез. Это критически важно в условиях высокой конкуренции и быстро меняющихся требований рынка.

Актуальность внедрения аддитивных технологий в проектирование и изготовление квадрокоптеров

Современное развитие квадрокоптеров связано с постоянным усложнением их конструкций и расширением функциональных требований. В этих условиях особенно важным становится использование новых подходов к проектированию и производству. Одним из наиболее перспективных направлений выступает внедрение аддитивных технологий (3D-печати) и методов быстрого прототипирования, которые обеспечивают значительные преимущества по сравнению с традиционными технологиями.

Одним из ключевых достоинств аддитивного производства является высокая скорость и гибкость разработки. Применение 3D-печати позволяет сократить цикл «концепция - прототип» с нескольких недель до нескольких дней. Это обеспечивает возможность оперативного тестирования конструктивных решений, изменения компоновки элементов и аэродинамических параметров с проведением множества итераций при минимальных затратах.

Не менее важным преимуществом является возможность глубокой кастомизации. Аддитивные технологии позволяют создавать конструкции, оптимизированные под конкретные задачи - будь то мониторинг местности, доставка грузов или аэрофотосъемка. Конструкция корпуса может быть адаптирована как под условия эксплуатации, так и под тип и массу полезной нагрузки.

Отдельного внимания заслуживает оптимизация массы и прочности изделий. Использование методов генеративного проектирования делает возможным создание сложных пространственных структур с оптимальным соотношением прочности и веса. Подобные конструкции

зачастую не могут быть выполнены традиционными способами обработки.

Экономическая эффективность также является весомым аргументом в пользу внедрения аддитивных технологий. Стоимость опытного производства существенно снижается за счёт отсутствия необходимости в оснастке и приспособлениях, а принцип «печатать по требованию» позволяет минимизировать складские запасы и логистические расходы.

Перспективы внедрения аддитивных технологий включают разработку легких интегрированных конструкций с защитными элементами, создание адаптивных рам с улучшенными аэродинамическими свойствами, быстрое прототипирование отраслевых решений и снижение порога входа для новых разработчиков. В совокупности это позволяет не только совершенствовать производственный цикл, но и значительно расширять возможности проектирования инновационных конструкций беспилотных летательных аппаратов.

Методика расчёта и оптимизации конструкции

Для обеспечения прочности и надёжности корпуса квадрокоптера был выполнен расчёт критических нагрузок. При максимальной взлётной массе 500 г и коэффициенте безопасности 2.0 расчётная нагрузка составила 1000 г. С учётом динамических воздействий был введён дополнительный запас прочности, что привело к итоговому значению нагрузки в 3000 г.

Анализ прочности конструкции

Прочностной анализ выполнялся методом конечных элементов в программном комплексе APM FEM. Максимальное напряжение при штатных условиях эксплуатации составило 12.3 МПа, в то время как предел прочности выбранного материала (PLA-пластик) равен 35 МПа. Это соответствует коэффициенту запаса прочности 2.85, что является удовлетворительным значением для лёгких конструкций данного типа. Прогиб лучей рамы под нагрузкой составил 0.8 мм, что вписывается в допустимые пределы.

Сравнение материалов

Для выбора оптимального материала было проведено сравнение нескольких популярных термопластов для FDM-печати (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Прочность, МПа	Стоимость, р./кг
PLA	1.24	35	1200
ABS	1.04	32	1400
PETG	1.27	30	1600
Nylon	1.18	45	4200

С учётом прочностных характеристик, технологичности печати и стоимости оптимальным оказался PLA-пластик.

Расчёт экономической эффективности

Себестоимость изготовления одного корпуса квадрокоптера представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет себестоимости изготовления

Масса, г	86
Стоимость материала, р	103.2
Электроэнергия, р	4.12
Амортизация оборудования, р	25
Итоговая себестоимость производства, р	133.66

Оптимизация параметров печати

В результате экспериментальных исследований были определены оптимальные технологические параметры (таблица 3).

Таблица 3 – Оптимальные технологические параметры

Толщина слоя, мм	0.15
Заполнение, %	70
Скорость печати, мм/с	60
Температура сопла, °C,	210
Температура стола - 60°C.	60

Результаты и перспективы

В результате оптимизации конструктивных решений и технологических параметров печати были достигнуты следующие ключевые показатели:

Снижение массы конечного изделия на 42 % относительно серийных аналогов

Сокращение цикла прототипирования с 7 до 2 суток

Снижение производственной себестоимости на 68%

Повышение прочностных характеристик при изгибе на 25%

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность применения аддитивного производства для создания корпусных элементов беспилотных летательных аппаратов. Грамотный выбор полимерного материала PLA в сочетании с оптимизированными режимами FDM-печати позволил создать конструкцию с улучшенными механическими характеристиками при одновременном снижении массы и стоимости производства. Полученные результаты подтверждают технико-экономическую целесообразность интеграции 3D-печати в технологические процессы изготовления беспилотных летательных аппаратов.

Список литературы

1. Agrawal K. Multi-rotors: A revolution in unmanned aerial vehicle. International Journal of Science and Research / Kanaiya A. Punit S.- Vadodara, India: P.I.E.T affiliated to GTU, 2015. – 16 с.
2. Bouabdallah S. – Design and control of quadrotors with application to autonomous flying / Bouabdallah S. – Lausanne: EPFL publishing house, 2007.
3. Ермаченков Д. И. Разработка конструкции рамы квадрокоптера для удаленного мониторинга объектов, В том 8 / Ермаченков Д.И., Фазли Т.Г.К., Петренко Е.О. - – 2-е изд., перераб. и доп./ Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 – 2016.
4. Гончарова О. Н. Аддитивные технологии – динамично развивающееся производство / О.Н. Гончарова, Ю.М. Бережной, Е.Н. Бессарабов, Е.А. Кадамов, Т.М. Гайнутдинов, Е.М. Нагопетьян, В.М. Ковина / Инженерный вестник Дона. - 2016. – № 4. – С. 39-42.
5. Шумейко И. А. Анализ пластмасс при их выборе для 3D печати / Шумейко И. А. Зайченко Н. О. / Технические науки. – 2021. № 8. – С. 81- 85.

УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ЛИТЬЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗДЕЛИЯ «БЛОК НАТЯЖЕНИЯ НИТИ» НА ТЕРМОПЛАСТ АВТОМАТЕ «МИНИ ТПА-100»

Д. С. Гуляева, Д. А. Верхушин, Д. С. Курдюмов
Новосибирский государственный технический университет, г.
Новосибирск, dianych14@mail.ru
Научный руководитель: Кудрявцева Ю. С., к.т.н., доцент

В работе представлены результаты освоения технологии литья под давлением изделия «Блок натяжения нити» в качестве альтернативного способа получения используемому в настоящее время – 3D-печать с последующим фрезерованием. Рассмотрены вопросы обеспечения требуемого качества изделий, а также способы уменьшения дефектов, возникающих в процессе литья.

This paper presents the results of developing injection molding technology for the "Thread Tension Block" component as an alternative to the currently used manufacturing method—3D printing followed by milling. Ensuring the required product quality and methods for reducing defects arising during the casting process are discussed.

ООО «Опытные приборы» занимается мелкосерийным производством установок и оборудования для проведения лабораторных работ по физике в высших и средних учебных заведениях. Изделие «Блок натяжения нити» применяется в модульном учебном комплексе МУК-М2 «Механика 2» [1]. Изделие «Блок натяжения нити» (рис. 1) состоит из подшипника (рис. 1б) и двух одинаковых пластиковых деталей (рис. 1а), соединенных при помощи клея (рис. 1в).

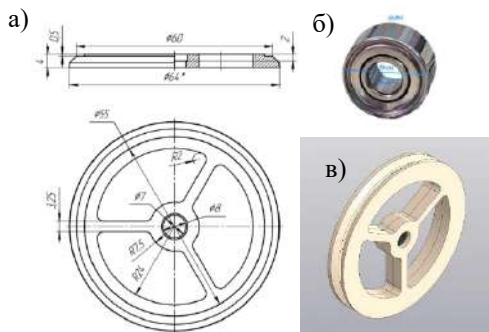


Рис. 1 – Изделие «Блок натяжения нити»: а) эскиз детали; б) подшипник 693ZZ 3*8*4мм; в) модель изделия в сборке

В настоящее время детали выполняются посредством 3D-печати с последующим фрезерованием центрального отверстия под подшипник, с целью обеспечения точности размеров. Для исключения операции фрезерования технология была изменена на литье под давлением. Для этого была спроектирована и изготовлена пресс-форма для термопластавтомата «Мини ТПА-100» [2] (рис. 2а). Материал пресс-формы: алюминий Д16.

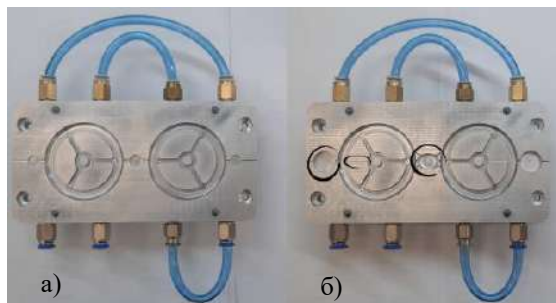


Рис. 2– Подвижная полуформа:

а) первоначальный вариант конструкции; б) после внесения изменений

Исходя из требований, предъявляемых к изделию, в качестве литейного материала был выбран ABS – доступный, твердый и жёсткий пластик с глянцевой поверхностью и стойкостью к выцветанию марки LG Chem HF380. Плотность материала составляет $1,06\text{--}1,19\text{ г/см}^3$, линейная усадка – $0,4\text{--}0,7\%$, что говорит о относительно высокой точности размеров отливаемых изделий.

В ходе литья деталей возникают 4 вида дефектов: недоливы, облой, усадочные раковины, утяжины (рис. 3). Наличие дефектов не должно влиять на работоспособность изделия. На данном этапе разработки технологии допускаются дефекты, ухудшающие внешний вид, однако желательно уметь их устранять.

Ниже рассмотрены способы борьбы с дефектами путем управления качеством изделия на этапе заливки (режимы) и проектирования пресс-формы (конструкция).

1. Недоливы

Недоливы характеризуются не полным заполнением формы материалом. Они возникают вследствие низких параметров температуры расплава и поверхности формы, скорости и дозы впрыска материала [5] (рис. 3а). Для устранения данного дефекта необходимо повысить вышеперечисленные параметры.

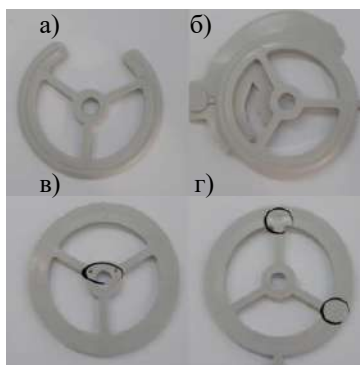


Рис. 3 – Дефекты литья: а) недоливы; б) облой; в) усадочные раковины; г) утяжины

2. Облой

Может возникать вследствие неполного смыкания пресс-формы или слишком высоких параметров температуры расплава, скорости и дозы впрыска или внутреннего давления в форме [5] (рис. 3б).

3. Усадочные раковины

Усадочные раковины или вакуоли образуются в детали в утолщениях стенки или в скоплениях материала, если усадка не может более компенсироваться [4] (рис. 3в). Для устранения дефекта в толстостенных зонах детали необходимо увеличить скорость впрыска, температуру расплава и литейной формы.

4. Утяжины

Утяжины представляют собой углубления на поверхности детали, возникающие в зоне скоплений материала вследствие неравномерного уменьшения объема (термической усадки). Для устранения дефекта необходимо понизить скорость впрыска, температуру формы и материала [4] (рис. 3г).

В ходе первых отливок удалось проследить за направлением течения материала внутри формы (рис. 4).

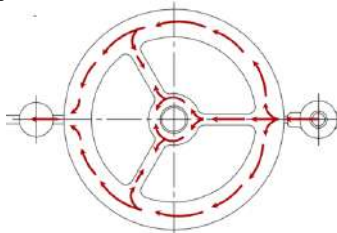


Рис. 4 – Направление течения материала внутри отливки

Для устранения дефектов были внесены изменения в конструкцию пресс-формы: увеличен карман для излишков материала, добавлены литниковые каналы и выпоры от центра, деталей до кармана (рис. 26).

Термопластавтомат «Мини ТПА-100» имеет 4 зоны нагрева шнека: 3 контура и сопло. Исходя из методических рекомендаций по литью ABS [3] и рекомендаций от производителя оборудования [2] температура, подаваемая на сопло, должна находиться в пределах от 220°C до 260°C. Для возможности варьирования между этими значениями первые эксперименты проводятся при температуре на сопле 240°C. Температура на каждом следующем контуре должна быть на 10% меньше, чем на предыдущем начиная от сопла.

Параметры удачных экспериментов:

Температура на выходе: 240 °C;

Доза впрыска: 15,3 гр. (в данном случае «граммы» – это условная единица, привязанная к количеству оборотов шнека);

Скорость впрыска: 100% от номинала;

Время разгона: 3 сек.;

Время торможения: 6 сек.;

Обороты назад: 1.

С учетом изменений в пресс-форме при данных параметрах получилось избавиться от усадочных раковин и минимизировать последствия переливов и глубину утяжин (рис. 5). Для поставленной задачи данный результат считается допустимым.



Рис. 5 – Результат эксперимента

Понижая значения скорости впрыска и температуры материала полностью избавиться от усадки не получилось. Для устранения данного дефекта потребуются полностью переработать конструкцию детали таким образом, чтобы обеспечить равную толщину стенок на всей площади детали. Однако это решение требует дополнительных экономических затрат, что не целесообразно в условиях данной задачи.

Литература:

1. Все о ООО «Опытные приборы»: opprib: [Электронный ресурс]. – URL: <https://opprrib.ru/main/histori.php> (Дата обращения: 16.11.2025)
2. Мини ТПА-100 – МиниТПА. Настольный малогабаритный станок для литья пластмасс: минитпа.рф: [Электронный ресурс]. – URL: <https://минитпа.рф/> (Дата обращения: 16.07.2025)
3. Маннесманн Демаг Пластсервис. Литье под давлением – коротко и ясно [Текст]: информационная брошюра / Маннесманн Демаг Пластсервис – Нижний Новгород: Издательство НПП «Симплекс», 2000. – 142 с.
4. ENGEL, Справочник по устранению дефектов изделий, изготавливаемых литьем термопластов под давлением, 12-е издание / Институт пластмасс, г. Люденшайд, - 2013 г., 180 с.
5. POLYGONPLAST, Устранение дефектов литья, г. Москва, 23 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

А. В. Зеленина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zelenina.2018@corp.nstu.ru**

Научный руководитель: Гилета В. П., к.т.н., доцент

В связи с повышением требований к эксплуатационным свойствам деталей, работающих при высоких скоростях и нагрузках, необходимо исследовать особенности поведения материала и поверхностного слоя изделий в процессе работы.

Due to the increased requirements for the performance properties of parts operating at high speeds and loads, it is necessary to investigate the behavior of the material and the surface layer of the products during operation.

На современном этапе развития промышленности сложились тенденции внедрения в производство малоотходных технологий. Что приводит производителей к необходимости использования методов обработки, не предполагающих резания. Одним из возможных вариантов является обработка пластическим деформированием (ПД). Давно известно, что свойства поверхности, получаемые деформацией, будут отличаться от тех, что получены после снятия слоя материала. В связи с этим проводятся исследования, сосредоточенные на вопросах поведения

обработанной детали в процессе эксплуатации, характере износа, устойчивости к средам и т.д.

Для высоконагруженных деталей в высокоскоростных соединениях, работающих при высоких температурах, часто применяют титановые сплавы. Исследованиям особенностей эксплуатации деталей из титановых сплавов, обработанных деформационными методами, в последние годы уделяют всё больше внимания.

Так, Эгемен Авчу и др. изучали коррозионную стойкость сплава Ti6Al4V после дробеструйной обработки (ДБО) [1]. Они отметили, что коррозионная стойкость сплава была повышена благодаря образованию пассивирующей пленки. После ДБО, пассивирующий слой образовывался быстрее и был более стабильным; образование ультрамелкозернистой микроструктуры как на поверхности, так и вглубь материала, стимулирует формирование коррозионностойкого слоя.

Нин Ван и др. рассматривали влияние пластической деформации на усталостный износ сплава Ti6Al4V [2]. Они показали, что при длительном испытании на износ происходит потеря материала, но отсутствуют зоны зарождения трещин, что является следствием повышенной твердости поверхности, наличия деформационно упрочненного слоя и высоких остаточных напряжений сжатия. При этом ультразвуковая поверхностная прокатка (УПП) приводит к более высокой износостойкости в сравнении с ДБО. Это вызвано получаемой морфологией поверхности: после УПП меньше шероховатость, что «смягчает» нежелательные эффекты износа.

Кристоф Брёнер и др. изучали влияние ДБО на поведение сплава Ti48Al2Cr2Nb при изотермическом усталостном износе [3]. Как и предыдущие авторы, они отметили, что ДБО подавляет зарождение трещин на поверхности. При этом в зависимости от прикладываемой нагрузки наблюдается различное соотношение зарождения трещин на поверхности и в объеме материала. Их результаты показывают, что чем больше приложенное усилие, тем меньше трещин на поверхности и больше в материале, что уменьшает износ и увеличивает срок службы.

Проведение исследований дает понять, что износостойкость во многом зависит от полученных на конечном этапе обработки твердости и шероховатости поверхности, соотношения остаточных сжимающих и растягивающих напряжений, так как растягивающие – снижают усталостную прочность, а сжимающие – способствуют повышению устойчивости к износу.

Приведенные выше данные показывают, что область исследований трибологических характеристик деталей из титановых сплавов наполнена точечными работами, сосредоточенными на определенных

материалах и конкретных условиях. При этом даже таких работ относительно мало, несмотря на их важность для производства и эксплуатации деталей.

Вариативность получаемых исследователями данных отражает сложность характера влияния методов пластического деформирования и режимов и условий обработки на эксплуатационные свойства деталей. Получение положительных результатов на одном сплаве не гарантирует их повторение на другом. Эта непростая взаимосвязь параметров в совокупности с недостаточностью исследований указывает на необходимость дальнейшей работы в данном направлении, более подробного изучения особенностей влияния характеристик поверхности, получаемых методами ПД, на такие свойства, как коррозионная стойкость, усталостная прочность и др.

Литература:

1. Avcu E. et al. Corrosion Behavior of Shot-Peened Ti6Al4V Alloy Produced via Pressure-Assisted Sintering // *Coatings*. – 2023. – Т. 13. – №. 12. – С. 2036. – URL: <https://doi.org/10.3390/coatings13122036> (дата обращения: 02.03.2025).
2. Wang N. et al. Influence of ultrasonic surface rolling process and shot peening on fretting fatigue performance of Ti-6Al-4V // *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. – 2021. – Т. 34. – №. 1. – С. 90. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s10033-021-00611-1> (дата обращения: 04.04.2025).
3. Breuner C. et al. Influence of shot peening on the isothermal fatigue behavior of the gamma titanium aluminide Ti-48Al-2Cr-2Nb at 750 C // *Metals*. – 2021. – Т. 11. – №. 7. – С. 1083. – URL: <https://doi.org/10.3390/met11071083> (дата обращения: 04.04.2025).

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ЛИТЬЕ В ХОЛОДНО-ТВЕРДЕЮЩИЕ СМЕСИ И МЕТОДЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ

С. А. Зеленских

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, sofia.zelenskih@mail.ru

Научный руководитель: Ю. С. Кудрявцева к.т.н., доцент

Целью данной работы является выяснение причин возникновения дефектов при литье в холодно-твердеющие смеси, а также поиск методов, которые помогут уменьшить риск появления брака. При изготовлении отливок нельзя выделить какие-либо единообразные нормы. Так, например, некоторые отливки, у которых может быть одинаковый вид дефекта, могут быть допущены на механическую обработку и на дальнейшее производство, а некоторые – нет. В основном появление дефектов (брака) связаны в первую очередь с технологическим процессом изготовления пресс-форм или модельной оснастки. В данной работе рассмотрены виды дефектов, в процессе реального производства, причины их возникновения, а также предложены возможные методы их устранения.

The purpose of this work is to identify the causes of defects in cold-hardening casting, as well as to find methods that can help reduce the risk of defects. When casting, there are no uniform standards that can be used to determine the quality of the castings. For example, some castings may have the same type of defect, but they may still be acceptable for machining and further production, while others may not. The main causes of defects (marriage) are related to the manufacturing process of the molds or tooling. This paper discusses the types of defects that occur during real production, their causes, and possible methods for their elimination.

Литье в холодно-твердеющие смеси – это процесс изготовления отливок в пресс-формах из специальных смесей, в состав которых входят: наполнитель (кварцевый песок), связующее (синтетические смолы), отвердитель или катализатор (фурановые или аминовые соединения), различные добавки [1].

Дефекты – проблема, с которой сталкиваются практически все предприятия, которые специализируются на изготовлении отливок разными методами литья. По ГОСТ 19200-80 [2] выделяют пять категорий дефектов:

1. Несоответствие по геометрии;
2. Дефекты поверхности;
3. Несплошности в теле отливки;
4. Включения;
5. Структурные несоответствия.

Важно знать и понимать в каких условиях и из-за каких причин возникают дефекты. Предупреждать их можно на уровне проектирования оснастки. С помощью программ, которые предназначены для моделирования процесса литья.

Ниже представлены виды дефектов, которые образуются в процессе изготовления отливок группы деталей сложных форм, на производстве по изготовлению отливок из черных и цветных металлов «ООО Центр Технологий Литья» в г. Бердске:

Недолив – неполное заполнение формы металлом (рис. 1). Наиболее вероятной причиной его образования является неправильный подвод металла в форму, то есть некорректное расположение литника (иногда необходим не один литник, а два), питателей, прибыли. Однако возможны и другие причины возникновения данного дефекта, например, большое количество образующихся газов, недостаточная температура и скорость заливки металла [3]. Дефект относится к первой категории дефектов – несоответствие по геометрии.



Рис. 1 – Недолив

Основными методами решения проблемы являются: повышение температуры расплавленного металла, увеличение скорости заливки, определение и проектирование наиболее правильного расположения элементов литниковой системы. Под правильным расположением элементов подразумевается конструкция, обеспечивающая непрерывную подачу расплава в форму.

Пригар – дефект в виде трудноотделяемого слоя на поверхности отливки (рис. 2). Относится ко второй категории дефектов, то есть является изъяном поверхности. В основном детали, на поверхности которых возникает пригар, допускаются к механической обработке.

Дефект может быть вызван следующими причинами [2]:

- Перегрев металла;
- Неправильное смешение компонентов;

– Окислы расплавленного металла вступают в химическую реакцию с компонентами смеси;



Рис. 2 – Пригар на поверхности отливки

Для устранения дефекта следует предпринимать следующие меры – контролировать температуру расплавленного металла, соблюдать правильное процентное соотношение состава смеси, использовать только качественные и проверенные компоненты.

Газовые раковины и пористость – данный дефект представляет собой полости, которые образуются из-за большого количества газов, внедрившихся в металл (рис. 3). Такой вид дефекта относится к третьей категории – несплошности в теле отливки.

Данный дефект возникает из-за недостаточной сушки форм и стержней, низкой скорости заливки металла, неправильного подвода металла в форму (некорректное расположение элементов литниковой системы). Однако некоторые, поры или раковины имеют допустимый размер в производство и механическую обработку. Если они образуются на поверхности и их можно удалить.



Рис. 3 – Пористость

Чтобы минимизировать данный дефект можно предпринять следующие меры:

– Правильно спроектировать литниковую систему, обеспечивающую непрерывное заполнение формы металлом;

- Повысить скорость заливки металла;
- Тщательно просушивать формы и стержни.

Коробление – искажение отливки за счет внутренних напряжений, возникающих при охлаждении (рис. 4). Дефект относится к первой категории – несоответствие по геометрии. Причинами их возникновения могут быть неправильное изготовление модельной оснастки, стержней и модели отливки [2].



Рис. 4 – Коробление детали

Возможные методы по уменьшению данного дефекта:

- Проектирование технологичной модельной оснастки. То есть расчет и выбор типа литниковой системы, определение плоскости разъема форм, соблюдение литейных уклонов.
- Добавление различных легирующих элементов в состав сплава.

Трещины – могут возникать из-за повышенной усадки металла, неподатливых участков форм и стержней, неправильного подвода литников, прибылей (рис. 5) [3]. Дефект относится к третьей категории – несплошности в теле отливки.



Рис. 5 – Трещины на поверхности отливки

Трещины можно минимизировать увеличением податливости стержней, форм, за счет добавления различных примесей в смесь (например, древесная мука и молотый торф, которые увеличивают податливость и пластичность форм) и т.д.

Усадочные раковины – дефект, появляющийся в отливке в основном из-за неравномерной усадки металла при затвердевании (рис. 6) [4]. Дефект относится к третьей категории – несплошности в теле отливки.



Рис. 6 – Усадочная раковина в отливке

Основной метод устранения дефекта — это правильное расположение литниковой системы (прибыли, питателей, литника), обеспечивающее плавное и непрерывное заполнение расплавленного металла в форму и подпитку отливки от прибылей.

Перекося (смещение оси) – дефект, представляющий собой снос верхней части отливки по оси относительно нижней части [2]. Появляется в основном из-за неправильной центровки (рис. 7).



Рис. 7 – Перекося (смещение)

Чтобы избежать данный дефект необходимо: проектирование надежной системы центрования (повышение точного расположения элементов формы), исключающей смещение полуформ.

Результаты данного обзора будут использованы в дальнейшем при проектировании модельных оснасток, 3D-моделей для деталей сложных и нестандартных форм.

Литература:

1. Особенности и преимущества метода литья в ХТС [Электронный ресурс] – URL: <https://www.sltgroup.ru/articles/osobennosti-i-preimushchestva-metoda-litya-v-hts/> (дата обращения: 10.11.2025).
2. ГОСТ 19200-80 Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов. Взамен ГОСТ 19200-73. М.: ИПК изд-во стандартов, 2004. – 12 с.

3. Виды дефектов литья металлов: причины возникновения, методы устранения и их классификация [Электронный ресурс] – URL: <https://www.soezgroup.ru/company/blog/liteynye-defekty-v-otlivkakh/> (дата обращения: 10.11.2025).

4. Таблица литейных дефектов [Электронный ресурс] – URL: <https://inner.su/articles/tabliitsa-liteynykh-defektov-vizualnaya-identifikatsiya-i-metody-preduprezhdeniya/> (дата обращения: 10.11.2025).

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НИОБИЕГО ПОРОШКА МЕТОДОМ ПОМОЛА В ПЛАНЕТАРНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Д. Н.Зыбин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zybin.2020@stud.nstu.ru**

Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н., доцент

В настоящей работе рассматривается актуальность и область применения металлических порошков в современных промышленных процессах, с особым акцентом на порошки из ниобия. Проведен краткий обзор существующих методов получения металлических порошков. Также подробно описана методика проведения экспериментальной серии по получению ниобиевой стружки с использованием механического метода помола.

This paper examines the relevance and scope of metal powders in modern industrial processes, with a special focus on niobium powders. A brief overview of the existing methods for producing metal powders is provided. The method of conducting an experimental series on the production of niobium chips using the mechanical grinding method is also described in detail.

Актуальность

В современных условиях промышленного производства металлические порошки уже не рассматриваются как узкоспециализированный материал. Они заняли позицию одного из ключевых компонентов инновационных технологических процессов. Сегодня область применения металлических порошков охватывает широкий спектр направлений: аддитивные технологии, порошковую металлургию, производство композитных и функциональных материалов, процессы наплавки и напыления и ряд иных высокотехнологичных операций [1].

Отдельного внимания заслуживает ниобий - тугоплавкий и коррозионностойкий металл, свойства которого наиболее полно проявляются при использовании в порошковой форме. Во многих

отраслях его применение стало критически значимым. Так, в аэрокосмической промышленности ниобиевые порошки применяются для получения жаропрочных сплавов, способных функционировать в условиях экстремально высоких температур [2]. В области электроники ниобий используется как сверхпроводящий материал: он является составной частью резонаторов ускорителей частиц и оборудования систем мобильной связи. Кроме того, в ядерной энергетике ниобиевые порошки все чаще интегрируются в производство коррозионностойких элементов ядерных реакторов, в частности — оболочек ТВЭЛОВ, представленных на рисунке 1.



Рис. 1 – Оболочка ТВЭЛа реактора БН-600, изготовленная из нового конструкционного материала ЭК164 (с повышенным содержанием титана, ниобия, ванадия)

Классификация методов получения порошков

Существует несколько методов получения металлических порошков, выбор которых определяется требуемыми характеристиками конечного материала. В промышленной практике применяются физические методы (распыление, испарение, плавление), химические методы (прокаливание, осаждение), а также электролитические и механические способы получения порошков.

Практическое применение

Рассмотрим более детально механический метод получения металлических порошков. Он основан на прямом измельчении металла в твёрдом состоянии. Для этих целей применяются шаровые, вихревые и вибрационные мельницы, а также аттриторы.

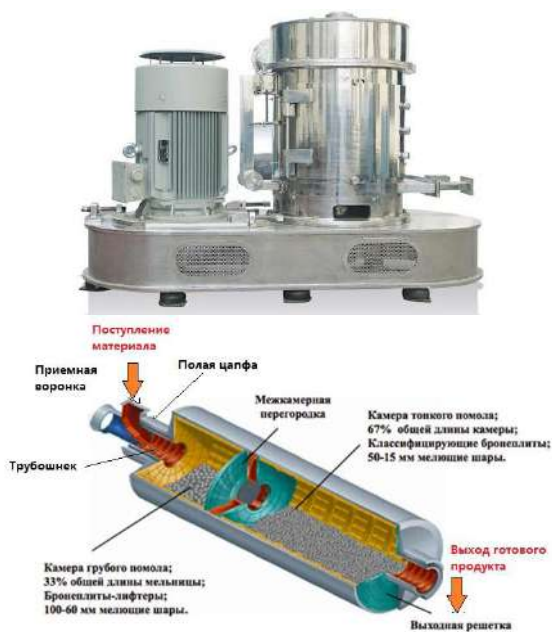


Рис. 2 – Шаровая и вихревая мельницы

Шаровые и вибрационные мельницы также широко используются в лабораторной практике. С их помощью выполняются исследования, результаты которых позволяют корректировать режимы работы промышленных мельниц [3]. С их помощью также изучают, как различные металлы, сплавы или композиты ведут себя при механическом измельчении. Это особенно важно для тугоплавких или дорогостоящих металлов, таких как ниобий, молибден или титан.

В рамках исследования эксперименты проводились с использованием шаровой мельницы планетарного типа, представленной на рисунке 3.



Рис. 3 – Лабораторная шаровая мельница планетарного типа с загруженными стаканами

Процесс измельчения достаточно прост: в рабочие стаканы загружаются стальные шары и обрабатываемый материал (в данном случае - ниобиевая стружка). Затем мельница запускается в работу с предварительно заданной частотой вращения. Всего было проведено пять экспериментов. В каждом из них изменялась скорость вращения мельницы, тогда как масса стружки и соотношение её к массе шаров оставались неизменными. Измельчение осуществлялось при частотах 30-50 Гц с шагом 5 Гц. Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

№ опыта	$m_{\text{стр}}, \text{г}$	$m_{\text{шар}}, \text{г}$	$\nu, \text{Гц}$	$t_{\text{обр}}, \text{мин}$	$m_{\text{пор}}, \text{г}$
1	70	420	30	15	35,1396
2	70	420	35	15	39,8753
3	70	420	40	15	46,5335
4	70	420	45	15	55,1189
5	70	420	50	15	65,1042

Соотношение массы стружки к массе шаров составляло 1:6. Время обработки для каждого эксперимента было фиксировано и составляло 15 минут. Масса полученного порошка определялась с использованием аналитических весов.

Анализ результатов экспериментальной серии позволяет отчётливо проследить зависимость между частотой вращения шаровой мельницы и массой получаемого порошка. При увеличении скорости вращения мельницы наблюдается повышение кинетической энергии шаров, что приводит к более интенсивной деформации и разрушению стружки [4]. В результате увеличивается эффективность помола, что проявляется в росте массы получаемого порошка. Этот эффект объясняется тем, что

при более высокой частоте вращения увеличивается число и сила соударений частиц, а также возрастает контактная площадь между шарами и стружкой, способствуя более полному превращению исходного материала в мелкодисперсный порошок.

Разница между значениями массы порошка в двух крайних режимах составляет почти двукратную величину. На основании полученных данных построена диаграмма, представленная на рисунке 4.



Рис. 4 – Диаграмма зависимости массы порошка от частоты вращения мельницы

В завершение следует отметить, что данный метод помола продемонстрировал высокую эффективность в исследовательской практике. Он позволяет получать необходимое сырьё из доступных отходов, что делает его перспективным инструментом для проведения дальнейших исследований и экспериментальных работ.

Кроме того, механический помол обеспечивает гибкость в настройке параметров процесса обработки, что даёт возможность напрямую влиять на характеристики получаемого порошка и адаптировать его под конкретные технологические задачи [3]. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения данного подхода как в лабораторных условиях, так и на этапах предварительной подготовки материалов для промышленного использования.

Литература:

1. Кубанова А. Н., Гвоздев А.Е. История развития порошковой металлургии и ее применение в современных технологиях. Чебышевский сборник. 2021;22(2):437-448. <https://doi.org/10.22405/2226-8383-2021-22-2-437-448>.

2. Griemsmann, T., Abel, A., Hoff, C. et al. Laser-based powder bed fusion of niobium with different build-up rates. *Int J Adv Manuf Technol* 114, 305–317 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06645-y>.
3. Alshora, D., Ibrahim, M., Elzayat, E., Almeanazel, O. T., & Alanazi, F. (2019). Defining the process parameters affecting the fabrication of rosuvastatin calcium nanoparticles by planetary ball mill. *International Journal of Nanomedicine*, 14, 4625–4636. <https://doi.org/10.2147/IJN.S207301>.
4. Matsanga, N.; Nheta, W.; Chimwani, N. A Review of the Grinding Media in Ball Mills for Mineral Processing. *Minerals* 2023, 13, 1373. <https://doi.org/10.3390/min13111373>.

УЧЕТ ВОЛНИСТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СТРАТЕГИЙ ОБРАБОТКИ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

М. Г. Иванов, Л. М. Гладков, Б. А. Стрепков
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mikhailgidra02@mail.ru
Научный руководитель: Верещагина А. С., к.т.н., доцент

Работа посвящена вопросам волнистости поверхности, которая является одним из важнейших параметров оценки при машинной обработке резанием. Чтобы понять, как траектория инструмента влияет на качество поверхности после фрезерования с ЧПУ, будет реализована серия симуляций в SolidCAM. Мы зададим одни и те же предварительные параметры, такие как материал, скорость резания, подача и т.д., но каждая симуляция будет использовать разные стратегии обработки, которые отличаются траекторией инструмента. По завершении фрезерования мы проверим полученные поверхности и сравним волнистость и чистоту каждой из них.

Surface waviness is one of the most important evaluation parameters in machine cutting. To understand how the tool path affects the surface quality after CNC milling, a series of simulations will be implemented in SolidCAM. We will specify the same preliminary parameters such as material, cutting speed, feed, etc., but each simulation will use different machining strategies that differ in the tool path. Upon completion of milling, we will check the obtained surfaces and compare the waviness and purity of each of them.

Современное фрезерование на станках с ЧПУ предполагает использование CAD/CAM-систем, которые значительно облегчают создание управляющей программы и позволяют моделировать процесс фрезерования с помощью 3D-визуализации, которая показывает траекторию инструмента и обрабатываемые области детали. Кроме того,

настройка фрезерной обработки в САМ-системе очень гибкая и разнообразная, включая различные стратегии обработки и траектории инструмента, настройку проходов и вспомогательных движений и т. д. В данной работе основное внимание уделяется полуступчатой обработке свободных поверхностей и ответственных поверхностей, подлежащих дальнейшей чистовой обработке с использованием различных стратегий обработки, позволяющих добиться хорошего качества поверхности. Результаты исследований будут использованы при фрезеровании корпусных деталей.

В автоматизированном производственном программном обеспечении, таком как SolidCAM, сравниваются эффекты различных стратегий обработки при одинаковой скорости резания, геометрии инструмента, материале, шаге между соседними проходами и предварительной черновой обработке. При моделировании использовалась фреза с радиусным скруглением от производителя Fenwerk 3NFR-D12-R3-3-24-75 [1].

В результате моделирования 4 стратегий обработки были получены 3D-визуализации обработанных поверхностей после каждого перехода. На рисунках 1, 2, 3 и 4 показаны 3D-модели после обработки стратегиями по ватерлинии, линейная, карман, постоянный шаг, соответственно, а также траектории инструмента.

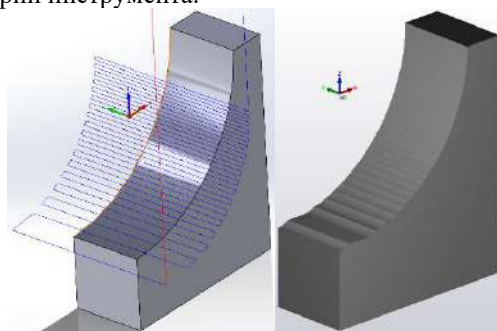


Рис. 1 – Обработка по ватерлиниям

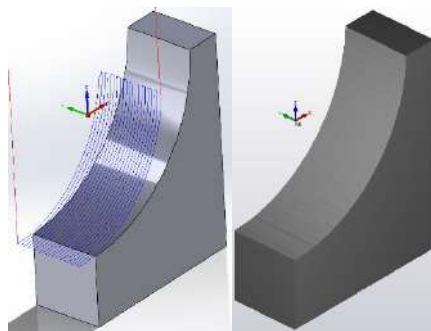


Рис. 2 – Линейная обработка

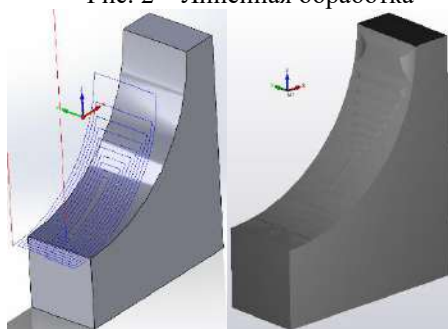


Рис. 3 – Обработка кармана

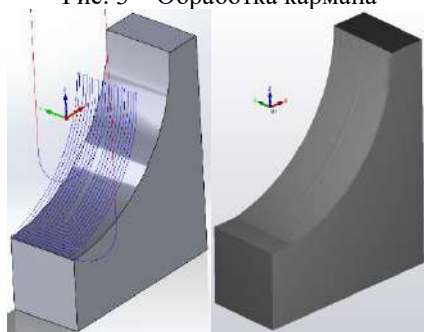


Рис. 4 – Обработка с постоянным шагом

В результате моделирования различных стратегий фрезерования радиусной поверхности экспериментальных образцов с постоянными начальными параметрами, эквидистантная обработка обеспечивает наилучшую чистоту поверхности. Основными недостатками, которые можно выделить в стратегии по ватерлинии и карману, являются наличие большого слоя остаточного материала. Эта проблема возникает из-за

того, что шаг между проходами инструмента одинаков только в определенных плоскостях. Обработка по ватерлинии сохраняет одинаковый шаг в плоскостях Z-Y и Z-X, а обработка кармана сохраняет одинаковый шаг в плоскости X-Y. При проецировании траектории на обрабатываемую поверхность расстояние между проходами увеличивается в тех местах, где касательная к обработанной поверхности перестает быть параллельной и образует небольшой угол с плоскостью, где постоянный шаг обеспечивается стратегией обработки. При достижении угла около 30...60 градусов и его дальнейшем увеличении участки с остаточным материалом становятся очень заметным.

Литература:

1. Каталоги инструментов и принадлежностей Fenwerk. [Электронный ресурс] - URL: <https://fenwerk.ru/catalog/> (дата обращения: 20.11.2025).

ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДЫ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

А. В. Иванова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, a.v.ivanova.2018@corp.nstu.ru**

Научный руководитель: Гилета В. П., к.т.н., доцент

В работе рассмотрено влияние амплитуды ультразвуковых колебаний при ультразвуковом поверхностном пластическом деформировании (УЗППД) на качество поверхностного слоя деталей из алюминиевого сплава АМг6. Было выявлено, что шероховатость и микротвердость поверхности не имеют ярко выраженной зависимости от амплитуды. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что в пределах выбранных режимов амплитуда оказывает слабое влияние на микрогеометрические параметры и микротвердость, вероятно, в большей степени воздействуя на глубину упрочненного слоя.

This paper examines the influence of ultrasonic vibration amplitude during ultrasonic surface plastic deformation (USPD) on the surface layer quality of AMg6 aluminum alloy components. Experiments revealed that surface roughness and microhardness do not exhibit a pronounced dependence on vibration amplitude. The results obtained suggest that, within the selected operating conditions, ultrasonic vibration amplitude has little effect on microgeometric parameters and microhardness, likely exerting a greater influence on the depth of the hardened layer.

Ультразвуковое поверхностное пластическое деформирование – это современный, надежный и прогрессивный метод улучшения качества поверхности изделий из алюминиевых сплавов [1-3]. Этот метод основан на использовании высокочастотных колебания, преобразующие непрерывный контакт деформирующего инструмента с заготовкой в множество микроударов.

Детали машин, изготовленные из алюминиевых сплавов, имеют огромную применимость в авиационной, космической и других отраслях промышленности, поэтому часто требуются высокие показатели прочности, износостойкости и коррозионной стойкости. Качество поверхности деталей машин – это то, что определяет эксплуатационные свойства изделия.

Режимные параметры напрямую влияют на качество поверхностного слоя. Цель данной работы – установить связь между амплитудой ультразвуковых колебаний при УЗППД и параметрами качества поверхностного слоя изделия из алюминиевого сплава АМгб.

Изменяя значение амплитуды при неизменном значении остальных параметров, становится возможно установить влияние амплитуды ультразвуковых колебаний на качество поверхностного слоя образцов из АМгб при УЗППД.

Уровень амплитуды A варьировался за счет изменения выходной мощности генератора в диапазоне $N = 50 \dots 100\%$.

Рельеф поверхности при изменении амплитуды представлен на рисунке 1.

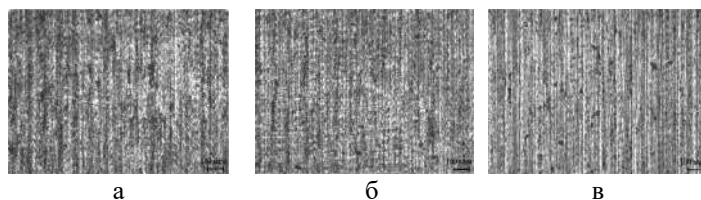


Рис. 1 – Морфология поверхности после УЗППД при $P = 50$ Н, $s = 0,107$ мм/об: а – выходная мощность $N = 50\%$, б – выходная мощность $N = 75\%$, в – выходная мощность $N = 100\%$

Видно, что с изменением амплитуды высота неровностей остается прежней. В каждом рассматриваемом случае прослеживается характерное для этого метода финишной обработки ячеистое строение.

Профилометрия поверхности говорит о том, что Ra поверхности остается практически неизменным. Форма пиков и впадин сглажена, что также характерно для метода ультразвукового поверхностного

пластического деформирования. Максимум шероховатости поверхности наблюдается при $N = 75\%$ и составляет $Ra = 0,281$ мкм

На графике, представленном на рисунке 2, представлена зависимость параметра Ra от уровня амплитуды ультразвуковых колебаний.

Видно, что шероховатость значительно ниже исходной, но с изменением амплитуды она варьируется в узком интервале значений. Из этого можно сделать вывод, о том, что влияние амплитуды на шероховатость при УЗППД в пределах выбранных режимных параметров незначительно.

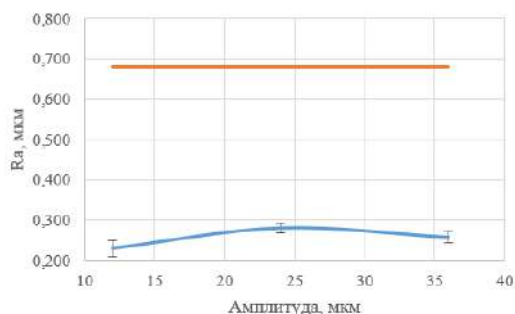


Рис. 2 – Зависимость параметра Ra от амплитуды

Максимальное повышение микротвердости, как видно на рисунке 3, возникает при уровне выходной мощности генератора 50-75%, но с учетом доверительных интервалов вполне вероятно, что и микротвердость с изменением амплитуды значительно не изменяется.

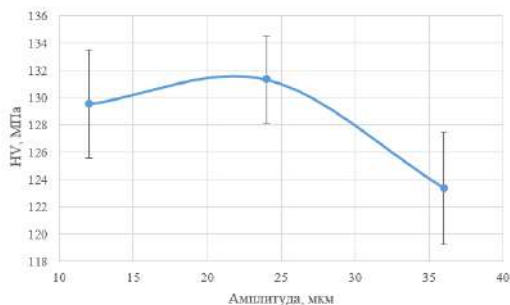


Рис. 3 – Зависимость микротвердости от амплитуды

Таким образом, можно говорить о том, что такие параметры качества поверхности как шероховатость и микротвердость имеют слабую

зависимость от амплитуды ультразвуковых колебаний при обработке изделий из алюминиевого сплава АМг6. Вероятно, с изменением амплитуды колебаний, наложенных на инструмент, изменится глубина упрочнения, а не микрогеометрические параметры качества поверхностного слоя.

Литература:

1. Кувшинов М. О. Сравнительный анализ методов поверхностного пластического деформирования (ППД) / М. О. Кувшинов, А. А. Хлыбов // Материалы XVIII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлосведов-молдых ученых. Екатеринбург, 21-23 ноября 2017. — Екатеринбург: УрФУ, 2017. — С. 37-42.
2. Brostow W., Czechowski K., Polowski W., et al. Slide diamond burnishing of tool steels with adhesive coatings and diffusion layers // Materials Research Innovations. 2013. Vol. 17. P. 269–277. DOI: 10.1179/1433075X12Y.0000000060.
3. Xiong Q., Zhang P., Zhai W., et al. Effect of ultrasonic surface rolling on the fretting wear property of 7075 aluminum alloy // Metals. 2023. Vol. 13, no. 10. P. 1674. DOI: 10.3390/met13101674.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМНОЙ ПАЙКИ ПАРЫ БЕРИЛЛИЙ-МЕДЬ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДЕФЕКТНОСТИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЯ

Д. А. Калинин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, danila34505@mail.ru**

Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н., доцент

Исследование посвящено совершенствованию технологии вакуумной пайки пары медь бериллий, и получения соединения с вакуумноплотными швами. В работе рассматривается технология изготовления и в дальнейшем возможные методы исследования паяных образцов меди и бериллия.

The research is devoted to improving the technology of vacuum soldering of copper-beryllium vapor, and obtaining joints with vacuum-tight seams. The paper considers the manufacturing technology and further possible research methods for brazed copper and beryllium samples.

В настоящее время во многих конструктивных элементах используются материалы с различными физико-химическими

свойствами (например, керамика и металл, сплавы с существенно различающимися коэффициентами термического расширения, легкоплавкие и тугоплавкие металлы). Паяные конструкции часто работают в экстремальных условиях, что предъявляет к ним повышенные требования по термостойкости, износостойкости, коррозионной стойкости, механической прочности и радиационной стойкости. Повреждения могут возникать как при неудовлетворительном качестве паяного шва в исходном состоянии, так и при его несоответствии критериям приемки действующих стандартов, а также при образовании дефектов в процессе эксплуатации. Аморфные и наноструктурированные припои, обладая высокой диффузионной и капиллярной активностью, а также однородностью химического состава, позволяют решать сложные задачи создания надежных конструкций из различных материалов. Пайка является критически важной технологией для современных высокотехнологичных отраслей промышленности, например, при изготовлении электровакуумного оборудования [1].

Пайка применяется при изготовлении электровакуумных приборов, таких как источники синхротронного и рентгеновского излучения [2]. К данному оборудованию предъявляются строгие требования по герметичности - узел должен сохранять работоспособность в условиях высокого вакуума (до $1,5 \times 10^{-5}$ Па). Таким узлом является преломляющая линза, эксплуатируемая в условиях высокого вакуума (до $1,5 \times 10^{-5}$ Па) и синхротронного излучения. Данное изделие состоит из трёх компонентов, а именно фланец из нержавеющей стали марки 12X18H10T, который спаивается с медной втулкой марки М0 и затем к полученному узлу к меди припаивается монокристаллический бериллий. Одной из основных технологических проблем является пайка бериллия. Использование бериллия в качестве материала для линз обусловлено его оптимальным соотношением коэффициентов поглощения и рассеяния рентгеновского излучения. Однако пайка бериллия с другими металлами сопряжена с трудностями, связанными с ограничением температуры процесса (порядка 800°C), что сужает выбор возможных пар материалов. Одним из перспективных вариантов является вакуумная пайка бериллия с медью, однако существующая методика не гарантирует стабильно положительных результатов [3,4]. В связи с этим, целью данного исследования является совершенствование технологии вакуумной пайки пары медь-бериллий и разработка методов, обеспечивающее качественное соединение без таких дефектов, как трещины и поры, также прохождение испытаний на герметичность в условиях высокого вакуума (до $1,5 \times 10^{-5}$ Па).

Литература:

1. Гладков А. С. Пайка деталей электровакуумных приборов / А.С. Гладков, О.П. Подвигина, О.В. Чернов. – М.: [Изд-во не указано], 1967. – 159 с.
2. Lyatun I. Impact of beryllium microstructure on the imaging and optical properties of X-ray refractive lenses / I. Lyatun, P. Ershov, I. Snigireva, A. Snigirev // *Journal of Synchrotron Radiation*. – 2023. – Vol. 30. – P. 123-134. – DOI: 10.1107/S1600577522011032.
3. Esmati K. Study on the microstructure and mechanical properties of diffusion brazing joint of C17200 Copper Beryllium alloy / K. Esmati, H. Omidvar, J. Jelokhani, M. Naderi // *Materials and Design*. – 2014. – Vol. 53. – P. 766-773. – DOI: 10.1016/j.matdes.2013.07.084.
4. Sevryukov O. N. Peculiarities of the structural-phase state of a brazing zone of dissimilar metal joints / O.N. Sevryukov, E.V. Guseva, A.A. Polyansky // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 1001. – P. 012034. – DOI: 10.1088/1757-899X/1001/1/012034.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ГИДРОПРЕССА ОТ ПЕРЕКОСОВ ПОДВИЖНОЙ ТРАВЕРСЫ

К. А. Колганов

**Сибирский государственный университет телекоммуникаций
и информатики,**

г. Новосибирск, kolganov_kostya@list.ru

Рассматривается проблема эксцентричного нагружения гидравлических прессов при штамповке, приводившая к перекосам подвижной траверсы. Предложен метод математического описания перекосов на основе углов Эйлера и системы контроля, с использованием энкодеров для измерения перемещения траверсы, и микроконтроллер STM32 для обработки значений с датчиков. Разработаны алгоритмы определения величины и направления перекоса, обеспечивающие безопасную эксплуатацию оборудования.

The problem of eccentric loading of hydraulic presses during stamping, which led to distortions of the movable traverse, is considered. A method is proposed for the mathematical description of distortions based on Euler angles and a control system using encoders to measure traverse movement, and an analog-to-digital converter for interfacing with a microcontroller. Algorithms for determining the magnitude and direction of the misalignment have been developed to ensure safe operation of the equipment.

Однозначность поведения любой технической системы является гарантией ее долговечной и надежной эксплуатации.

В этой работе мы приведем рассуждения об одном из аспектов контроля однозначного поведения штамповочного прессы.

Штамповочный гидропресс, состоит из двух жестко соединенных колоннами поперечин (одна из которых несет силовой гидроцилиндр, перемещающий третью поперечину - подвижную траверсу с инструментом. Подвижная траверса при работе гидропресса не должна перекашиваться, так как эксцентричные нагружения представляют опасность и могут вывести пресс из строя. В связи с этим контроль за блужданием эксцентриситета нагружения становится актуальным.

Разработке мониторингового оборудования, посредством которого должна контролироваться ситуация с перекосами и которое в случае опасности, отключит гидропресс, не допустив его поломки и посвящена данная работа.

Рассмотрим перекосы ползуна на прессе при эксцентричной нагрузке, объективно возникающей во время штамповки.

Преобразуем проблему в задачу: пусть при полном усилии прессы P допустимый эксцентриситет равен e . Тогда прессование детали, характеризующееся блужданием эксцентриситета, возможно на данном прессе только в том случае, если кривая, описываемая при прессовании концом переменного вектора $Pt*et$, может целиком уместиться внутри условного круга с радиусом Pe и центром на оси прессы. Если кривая, описываемая концом вектора $Pt*et$, имеет хоть одну хорду, большую $2Pe$, то такую деталь на данном прессе обрабатывать невозможно, так как пресс может выйти из строя.

Таким образом контроль точки приложения равнодействующей силы с точкой плоскости, в которой приложена равнодействующая сила сопротивления штампуемого изделия является нашей задачей, которая будет решена посредством разработанных алгоритмов.

Установим зависимости между контролируемыми величинами. Представим плоскость подвижной траверсы прессы прямоугольником $abcd$. Положение твердого тела, имеющего неподвижную точку на пересечении диагоналей траверсы, определяется тремя углами Эйлера. В нашем случае их два - угол прецессии ψ , характеризующий направление перекоса, и угол нутации ρ , определяющий величину перекоса.

Для графического изображения перекоса траверсы примем систему полярных координат на плоскости $abcd$ с полюсом в точке O (пересечение диагоналей) и полярной осью y . Обозначим перекос траверсы радиусом - ρ , модуль которого равен ρ , а полярный угол - углу прецессии ψ . Следовательно, этот вектор совпадает по направлению с осью вращения траверсы и равен по величине углу ее поворота вокруг этой оси. Перекос траверсы можно представить, как поворот ее вокруг осей X , Y и

обозначить соответственно векторами M и N , модули которых m и n определяют углы поворота траверсы вокруг этих осей. Ввиду малости угла p (не превышающего 1°) вектор перекоса p в соответствии с правилом сложения вращений относительно двух пересекающихся осей может быть представлен в виде $P=M+N$ учитывая взаимную перпендикулярность векторов M и N получаем:

$$p = \sqrt{m^2 + n^2} \quad (1)$$

$$\psi = \arctan\left(\frac{m}{n}\right) \quad (2)$$

Следовательно, если измерены углы перекоса траверсы в двух фиксированных и взаимно перпендикулярных направлениях, например, в направлениях сторон ab и bc , то истинная величина угла перекоса p и его направления ψ находятся по формулам (1) и (2).

При измерениях перекоса траверсы в качестве датчиков будем использовать энкодеры.

Перемещение мы будем определять полусуммой перемещений Za и Zb диаметрально расположенных крайних точек траверсы:

$$Zn = \frac{(Za + Zb)}{2}$$

Угол перекоса траверсы удобнее выражать не в радианах, а в миллиметрах на метр (мм/м) длины контролируемых прямых: (ab ; bc) – стороны прямоугольника, (ac ; bd) – диагонали прямоугольника [2].

Программная реализация будет состоять из чтения данных с энкодера, калибровки и преобразований значений в мм, вычисления углов перекоса, проверка критериев безопасности. За все это будет отвечать микроконтроллер на базе *STM32F4*, система может работать на частоте опроса 5 кГц. Калибровка выполняется всего один раз при включении системы и отслеживает перекося в режиме реального времени. Двухуровневая сигнализация интуитивно понятна: желтый светодиод и первый зуммер предупреждает о перекосе - 0,2 мм/1м, красный светодиод и отключение пресса перекося - 0,4 мм/1м. Значение перекоса для возможности считывания энкодером увеличивается в 20 раз посредством рычажного механизма первого рода с 0,2 мм до 4 мм и с 0,4 до 8 мм.

Предложенная система автоматической защиты гидравлического пресса. С применением математического описания перекосов через углы Эйлера в сочетании с микроконтроллерной реализацией на *STM32* обеспечило нужную точность и безопасность системы.

Низкие затраты и простота реализации, делает эту разработку практически и экономически целесообразным модульным мехатронным решением пригодным для модернизации как прессового

оборудования различного назначения, так и другого оборудования с наличием горизонтальных платформ, не допускающих отклонения от горизонтали.

Литература:

1. Васильев Б. П. Гидравлические прессы. - Москва: Машиностроение, 1966. - 436 с.
2. Лиснянский Р. М. Автоматика и регулирование гидравлических прессов. - Москва: Машиностроение, 1975. - 163 с.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И СЖАТИИ

Ли Хаопэн

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 1930583102@qq.com**

Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н., доцент

Усталостные свойства металлов являются важной характеристикой надежности конструкций и механизмов. Для обеспечения надежности конструкции очень важно испытывать усталостные характеристики металла. Однако это очень сложно и дорого, поскольку самым надежным способом являются натурные испытания. Поэтому ученые разрабатывают стенды для многоциклового усталости, принцип действия которых использует циклическое нагружение стандартных образцов материала с ультразвуковой частотой. Это позволяет обеспечить быстрый и дешевый стандартизированный способ испытания материалов. Таким образом, многие ученые в мире работают над разработкой конструкций таких материалов, образцов и установок для испытания материалов в разных условиях.

The fatigue properties of metals are an important characteristic of the reliability of structures and mechanisms. To ensure the reliability of the structure, it is very important to test the fatigue characteristics of the metal. However, this is very difficult and expensive, since field tests are the most reliable way. Therefore, scientists are developing stands for multi-cycle fatigue, the principle of operation of which uses cyclic loading of standard samples of material with an ultrasonic frequency. This allows for a fast and cheap standardized way to test materials. Thus, many scientists in the world are working on the development of designs of such materials, samples and installations for testing materials in different conditions.

В области технологий прогнозирования усталостной долговечности Лэн Цзяньчэн, Чжао Лэй, Чжан Синь и Сюй Хунвэй предложили метод прогнозирования усталостной долговечности восстановленных

заготовок, основанный на онлайн-мониторинге магнитной памяти. ¹ Этот метод представляет собой новый подход к технологии мониторинга в режиме реального времени во время усталостных испытаний.

Основной принцип испытаний на усталость металлов основан на теории накопления повреждений в материалах при циклическом нагружении. При многократном циклическом растяжении-сжатии в металле образуются микротрещины, которые постепенно распространяются, что в конечном итоге приводит к разрушению материала. Испытания на усталость имитируют напряженное состояние материалов в реальных рабочих условиях путем приложения регулярных циклических нагрузок и оценивают их усталостную долговечность и усталостную прочность. Согласно данным, полученным в отрасли испытаний на усталость металлов за последние годы, мировой рынок оборудования для испытаний на усталость металлов рос со среднегодовым темпом 7,8% в период с 2019 по 2024 год, при этом доля испытаний на усталость при растяжении-сжатии составляет около 45%.

Геометрия образцов для испытаний на усталость должна отвечать двум требованиям: минимизации концентрации напряжений и обеспечения технологичности изготовления. Стандартные образцы для испытаний на усталость обычно имеют гантелеобразную или цилиндрическую форму, где соотношение диаметра рабочей части к переходной части напрямую влияет на равномерность распределения напряжений. Согласно ASTM E466, длина рабочей части должна быть не менее четырех диаметров, а радиус дуги переходной части должен быть больше или равен восьми диаметрам рабочей части.

Образцы для испытаний на усталость при растяжении и сжатии являются наиболее часто используемым типом образцов при испытаниях на усталость, а их конструкция соответствует стандартам ASTM E466 и ISO 15003. Эти образцы обычно имеют гантелеобразную структуру с круглым поперечным сечением, диаметром базовой длины 8-12 мм и длиной 20-30 мм. Согласно данным из отрасли испытаний на усталость металлов с 2019 по 2024 год, испытания на усталость при растяжении и сжатии занимают приблизительно 45% доли рынка [2]. Геометрическая конструкция образца должна обеспечивать минимальный коэффициент концентрации напряжений, а шероховатость поверхности должна контролироваться в пределах Ra 0,8 мкм. При резонансных усталостных испытаниях длина образца должна быть оптимизирована на основе свойств материала и целевой частоты, обычно в диапазоне 100-200 мм. Зажимные концы образца используют резьбовые соединения или методы фиксации зажима для обеспечения надежной передачи усилия при высокочастотной циклической нагрузке.

1. Как можно дальше оптимизировать конструкцию испытательного стенда для усталостных испытаний, объединяющего принцип резонанса и сервоприводное управление, чтобы повысить точность и эффективность испытаний?

2. В испытаниях на усталость при растяжении и сжатии, как можно снизить эффект концентрации напряжений за счёт улучшения геометрии образца?

3. В испытаниях на резонансную усталость, как систематически моделировать и оптимизировать взаимосвязь между длиной образца, свойствами материала и целевой частотой?

Литература:

1. Leng Jiancheng; Zhao Lei; Zhang Xin; Xu Hongwei; A method for predicting the fatigue life of remanufactured blanks based on online monitoring of magnetic memory [J]. Material Herald, 2025(02):208-213. [In Chinese]

2. Zheng Shanshan; Research on the progress of fatigue properties of metal materials in additive manufacturing [J]. China Equipment Engineering, 2025(01):157-159. [In Chinese]

3. Zhao Zihua, Zhang Zheng, Wu Sujun, Zhong Qunpeng. Review of quantitative pushback research on metal fatigue fracture [J]. Mechanical strength, 2008(03): 164-170. [In Chinese]

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НАСТОЛЬНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Лу Чао

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 2242459385@qq.com**

Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н., доцент

Данное исследование направлено на разработку высокоэффективной, надежной, экономичной и практичной системы АТС для настольных станков с ЧПУ. Ручная смена инструмента на настольных станках с ЧПУ значительно снижает производительность, увеличивает вероятность человеческой ошибки и ограничивает сложность обрабатываемых деталей. Система автоматической смены инструмента (АСИ) устраняет эти недостатки, позволяя выполнять непрерывную многооперационную обработку, что является ключевым шагом для трансформации базового станка с ЧПУ в полноценный обрабатывающий центр. Особенно для малых и средних предприятий внедрение экономически эффективной АСИ для настольного оборудования может

кардинально повысить гибкость производства и конкурентоспособность без крупных капиталовложений в промышленные обрабатывающие центры.

This research aims to develop a highly efficient, reliable, economical and practical ATC system for desktop CNC machines. Manual tool change on desktop CNC machines significantly reduces productivity, increases the likelihood of human error and limits the complexity of the machined parts. The Automatic tool change (ASI) system eliminates these disadvantages, allowing continuous multi-operation processing, which is a key step for the transformation of a basic CNC machine into a full-fledged machining center. Especially for small and medium-sized enterprises, the introduction of economically efficient desktop automation can dramatically increase production flexibility and competitiveness without major capital investments in industrial processing centers.

Посредством системного проектирования и экспериментальной проверки, в данном исследовании были получены следующие ключевые выводы:

1. Безрычажная структура смены инструмента зонтичного типа может эффективно снизить сложность системы и повысить коэффициент безопасности [1].

2. Комбинация серводвигателя переменного тока и стратегии двунаправленной поэтапной смены инструмента может значительно повысить эффективность смены инструмента и стабильность системы [1, 3].

3. Модульная конструкция системы управления на базе PLC повышает ремонтпригодность и масштабируемость системы [3].

4. Разработанные методы оценки надежности и обнаружения точности [4], а также усовершенствованная конструкция ключевых компонентов магазина инструментов [2] обеспечивают долгосрочную стабильную работу системы.

Успешная разработка данной системы предоставляет ключевую техническую поддержку для модернизации настольных станков с ЧПУ в обрабатывающие центры, способствуя повышению конкурентоспособности отечественных станков с ЧПУ на рынке.

В рамках данной работы была поставлена конкретная задача: разработать и обосновать конструкцию специализированной системы АСИ, адаптированной к ограничениям и потребностям настольных станков с ЧПУ. Эта общая задача была декомпозирована на следующие конкретные подзадачи:

1. Провести сравнительный анализ и выбрать оптимальный тип магазина (дисковый, цепной, зонтичный) и механизма смены (с рычагом/без рычага), учитывая габаритные ограничения, стоимость и надежность.

2. Разработать архитектуру системы управления на базе программируемого логического контроллера (PLC), обеспечивающую координацию движений шпинделя, магазина и механизма смены. Особое внимание уделено реализации эффективного алгоритма управления, такого как двунаправленный поэтапный метод поиска инструмента [1, 3].

3. Разработать методику испытаний для проверки точности позиционирования инструмента, времени смены и долговечности системы, используя методы ускоренных испытаний и контроля точности [4].

Литература:

1. Mao Y. Research on automatic tool change system for retrofitting a CNC milling machine into a machining center [J]. Mechanical Engineering & Design, 2017(05): 169-172. [In Chinese].
2. Li T. Z., Zhang C., Xia T. Improved design of tool holder for tool magazine of vertical machining center [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2004(2): 143-143. [In Chinese].
3. Zhang Y. M., Guan W., Deng W.P., et al. Research on automatic tool change system based on PLC [J]. Mechanical Engineering & Design, 2012(11): 69-71. [In Chinese].
4. Wang M. S., Bian C. F., Han Q., et al. Research on accuracy control methods and accuracy degradation patterns for tool magazine and its automatic tool changer [J]. Journal of Instrumentation, 2021, 42(11): 172-181. [In Chinese].

МАЛОГАБАРИТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕСА ГРУЗА

А. А. Москвитин

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, moskvitins2709@gmail.com

Научный руководитель: Гилета В. П., к.т.н., доцент

В работе рассматривается проблема определения веса крупногабаритных грузов. Рассмотрены методы определения веса для такого типа грузов. Более подробно рассмотрено принцип работы весов и устройств по определению веса. Рассмотрен основной принцип работы тензометрических датчиков. Проанализирован узел внешней подвески вертолёта. Разработан датчик для определения груза до 1,5 тонн веса.

The paper considers the problem of determining the weight of large-sized cargo. Methods of determining the weight for this type of cargo are considered. The principle

of operation of scales and devices for determining the weight is considered in more detail. The basic principle of operation of strain gauge sensors is considered. The helicopter external suspension unit is analyzed. A sensor is developed for determining cargo up to 1.5 tons of weight.

Введение

Цель данной статьи разработать устройство определения веса переносимых грузов вертолётном.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ способов измерения веса крупногабаритных грузов или изделий.
2. Выбрать рационального способа реализации измерения веса груза
3. Разработать устройства по измерению веса переносимых вертолётном грузов.

В настоящее время определение веса крупногабаритных грузов является важной задачей в логистике и производстве. Из-за неприменимости стандартных методик для взвешивания таких грузов и их размеров, стоит применять специальные методики взвешивания. От точности взвешивания крупногабаритных объектов зависит безопасность транспортировки, себестоимость и соблюдение законодательных норм.

Основная часть

Для определения веса крупногабаритных изделий или грузов используют следующие методы:

Расчётный – высчитывают объём изделия или элементов груза, и перемножают на плотность.

Приборный – определение веса груза или изделия с помощью приборов.

Для расчётного метода нужно знать параметры изделия или груза, а также его плотность, что не всегда является возможным. При этом возникает сложности об неоднородных грузах, что тоже увеличивает расчёты.

Измерение приборами может показать итоговый вес. Что является более точным и более быстрым методом определения массы.[1]

Стоит учитывать, что обычные весы не всегда подойдут для взвешивания крупногабаритных грузов, для этого стоит применять специальные платформенные, крановые и автомобильные весы. Такие весы могут взвесить крупногабаритные грузы, с достаточно высокой точностью.

Для весов обычно используют тензометрические датчики веса. Данные датчики посредством упругой деформации элемента определяют вес груза в определённом диапазоне. Такие датчики работают

следующим образом: приложенная нагрузка заставляет упругий элемент, деформироваться в упругом диапазоне. Установленный на концентратор напряжения тензорезистор, передаёт разницу напряжения, на мостовую схему, с которой и идёт сигнал об весе груза. Схема и принцип работы датчиков представлены на рисунке 1.[2][3]

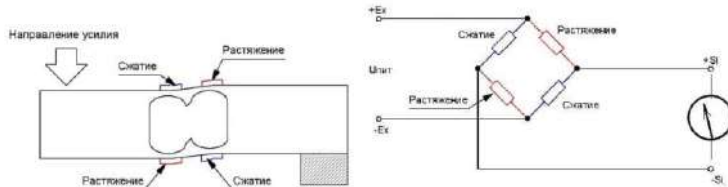
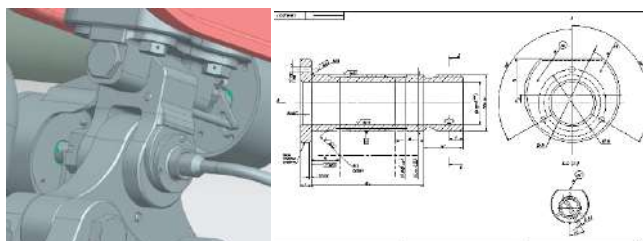


Рис. 1 - Принцип работы и мостовая схема тензодатчика

Конструкция тензодатчиков является решением определённой задачи, так как такие датчики используют не только в приборах веса, так и в кранах строительства и судостроения, также в авиастроении. Датчики могут проектировать для определённых узлов в конструкции судов и самолётов. Датчики разделяются, по типу воспринимаемой деформаций, такие как: изгиб, растяжения, сжатия, сдвиг.

С учётом анализа разработаем тензодатчик, для внешней подвески вертолёт. Для проектирования тензодатчика, были получены 3д модель узла и эскиз, заменяемого на тензодатчик, болта представленные на рисунке 2. Также указано, что датчик должен измерят нагрузку в 1.5 тонны и выдерживать перегрузку в 3 тонны.



Верхний болт является несущим и воспринимает всю нагрузку узла. Чтобы исключить вес узла датчик следует разместить во втором шарнире и это позволит измерять сам вес транспортируемого груза. Также датчик должен воспринимать усилие нагрузки в 1,5 тонны и перегрузку в 3 тонны.

При проектировании учитывался характер расположения детали и направление нагрузки, с учётом прочности материала 07X16H6 и характер изменения направления. Готовая конструкция тензодатчика для данного узла представлен на рисунке 3.

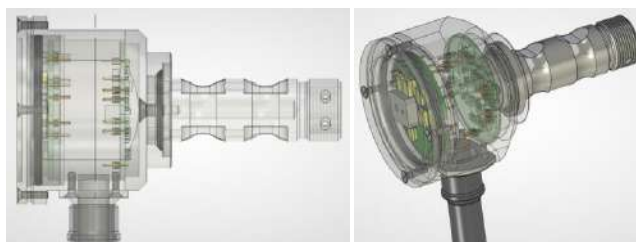


Рис. 3 – Вид конструктива датчика

В данном датчике соблюдены следующие цели:

- Направление измерения со направлено с приложением нагрузки.
- Датчик воспринимает нагрузку в 1.5 т и перегрузку в 3 т.
- Датчик переводит сигнал с тензорезисторов в цифровой сигнал.
- Соблюдается его крепление в узел внешней подвески.

Заключение

В ходе исследования были рассмотрены методы определения веса у крупногабаритных изделий или грузов. Также в статье был рассмотрен принцип работы весовых приборов и принципы работы тензометрических датчиков.

В статье разработана конструкция тензометрического датчика измерения веса на 1.5 т, и соблюдением особенности конструкцией данного узла. Исходными данными был узел для размещения внешней подвески вертолѐта, эскиз болта с основными размерами, и измеряемый вес в 1.5 т. Конструкция данного датчика позволяет измерить вес для грузов, переносимых вертолѐтом через узел крепления внешней подвески.

Литература:

1. Потапова С. Ю., Ибодулаева М. А., Скобелева Л. А., Вергазова. Ю.Г. Анализ методов измерения массы / Потапова С.Ю., Ибодулаева М.А., Скобелева Л.А., Вергазова. Ю.Г. [Электронный ресурс] //

cyberleninka: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-izmereniya-massy/viewer> (дата обращения: 18.11.2025).

2. Общая классификация весов и области их применения. — Текст: электронный // Сمارт-вес: [сайт]. — URL: <https://www.smartves.ru/press-center/stati/obshchaya-klassifikatsiya-vesov-i-oblasti-ikh-primeneniya/?srsltid=AfmBOoaaQ1LaMKbTydAPiDYc79jLt1v3uGrehqqQO5FYMOmTf8kquez5> (дата обращения: 18.11.2025).

3. Серьёзов А. Н. Погрешности измерений при прочностных испытаниях и выбор тензорезисторов на основе их технических и метрологических характеристик / А. Н. Серьёзов, Е. Н. Куликов, В. Ф. Воронов. — Текст: непосредственный // Аэродинамика и прочность конструкции летательных аппаратов. — Новосибирск: СибНИА, 2009. — С. 258 -2666.

МЕТОДИКА ПОДБОРА ЖЕСТКОСТИ СИЛИКОНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЬЕВЫХ ФОРМ

С. А. Реброва, Г. С. Хорохордин

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, i@s0nik.ru

Научный руководитель: Верещагина А. С., к.т.н., доцент

В статье рассмотрены ключевые аспекты выбора силиконовых эластомеров по критерию жесткости (модуля упругости) для задач литья пластмасс и полиуретанов в гибкие формы. Проанализирована взаимосвязь между механическими свойствами материала формы, геометрией отливки, типом литьевой смолы и технологическим циклом. Представлена систематизированная методика подбора, основанная на классификации моделей по сложности рельефа и наличию обратных углов. Показано, что корректный выбор жесткости силикона позволяет существенно повысить качество отливок, увеличить стойкость формы и оптимизировать процесс извлечения модели.

The article discusses the key aspects of selecting silicone elastomers based on the stiffness (elastic modulus) criterion for plastic and polyurethane molding in flexible molds. It analyzes the relationship between the mechanical properties of the mold material, the geometry of the casting, the type of molding resin, and the manufacturing process. The article presents a systematic selection methodology based on the classification of models based on the complexity of their relief and the presence of reverse angles. It demonstrates that selecting the correct stiffness of the silicone can significantly improve the quality of the castings, increase the durability of the mold, and optimize the model removal process.

Литье в силиконовые формы (Vulcanized Mold Making) является одним из наиболее распространенных методов мелкосерийного производства и прототипирования изделий из пластмасс, полиуретанов, эпоксидных смол и низкоплавких металлов. Преимущества данного метода включают высокую точность воспроизведения мельчайших деталей, возможность работы с материалами с различной вязкостью и относительно простую технологию изготовления оснастки [1].

Ключевым фактором, определяющим успех всего технологического процесса, является правильный выбор силиконового эластомера. Среди множества параметров (вязкость до отверждения, термостойкость, адгезионные свойства) одним из наиболее важных является жесткость, характеризующаяся модулем упругости при растяжении (МПа) или показателем твердости по Шору (шкала А). Неверная оценка требуемой жесткости приводит к таким дефектам, как разрушение формы при извлечении отливки, недопустимая усадка, низкая стойкость формы и невозможность изготовления моделей со сложной геометрией [2].

1. Жесткость силиконовых эластомеров и ее влияние на процесс литья

Жесткость силиконовых эластомеров количественно определяется модулем упругости (модулем Юнга) и коррелирует с показателем твердости по Шору (Shore A). Для литьевых форм применяются силиконы с твердостью от 10-15 ShA (очень мягкие) до 50-60 ShA (жесткие).

1.1. Влияние жесткости на извлечение отливки

Главная задача формы – обеспечить сохранность как самой себя, так и отливки в процессе извлечения. Мягкие силиконы (10-25 ShA) обладают высокой эластичностью, что позволяет деформировать форму для извлечения моделей с глубокими подрезами и обратными углами без применения разъемных конструкций [3]. Однако чрезмерная мягкость приводит к следующим проблемам:

- Деформация тонкостенных участков. При заливке жидкого материала под давлением стенки формы могут деформироваться, искажая геометрию отливки.

- Сложность ручного извлечения. Сильная деформация формы требует значительных физических усилий, что повышает риск ее повреждения.

- Низкая стойкость к истиранию. Мягкие силиконы быстрее изнашиваются в зонах трения.

Жесткие силиконы (30-60 ShA) обеспечивают лучшую стабильность геометрии и высокую стойкость к истиранию, что увеличивает жизненный цикл формы. Однако они не способны к значительной деформации, что делает невозможным литье изделий с обратными

углами в цельную (неразъемную) форму и требует создания разъемных многокомпонентных оснасток.

1.2. Влияние жесткости на усадку

Усадка силикона при отверждении и термическая усадка в процессе литья являются критичными для высокоточных отливок. Как правило, жесткие силиконы имеют меньшую линейную усадку (0.1-0.2%), чем мягкие (0.3-0.5% и выше) [4]. Это связано с более высокой степенью сшивки полимерных цепей. Для ответственных изделий, требующих высокой размерной точности, предпочтение следует отдавать более жестким составам.

1.3. Влияние жесткости на стойкость формы

Стойкость формы (количество циклов литья до разрушения) напрямую зависит от сопротивления усталостным нагрузкам. При каждом цикле извлечения форма испытывает циклические деформации. Жесткие силиконы, обладая более высоким пределом прочности и модулем упругости, как правило, демонстрируют лучшую усталостную выносливость при небольших деформациях. Мягкие силиконы лучше работают на многократные значительные деформации, но могут быстрее разрушаться в зонах концентрации напряжений (острые кромки).

2. Методика подбора жесткости силикона

Предлагаемая методика основывается на поэтапном анализе характеристик модели и условий литья.

Этап 1. Анализ геометрии модели.

Группа 1: Модели без обратных углов и с простым рельефом. Рекомендуется использовать силиконы средней и повышенной жесткости (30-50 ShA). Это обеспечит максимальную стабильность размеров, низкую усадку и высокую стойкость формы. Примеры: плоские плитки, корпуса с плавными обводами.

Группа 2: Модели с глубоким рельефом, но без обратных углов. Оптимальным является силикон средней жесткости (25-35 ShA). Он обеспечит достаточную гибкость для извлечения из глубоких полостей без чрезмерного растяжения, сохраняя при этом стабильность.

Группа 3: Модели с обратными углами и подрезами. Требуется мягкий силикон (10-25 ShA). Эластичность позволяет растягивать форму, высвобождая замки. Чем глубже и многочисленнее обратные углы, тем мягче должен быть силикон. Для экстремально сложных моделей применяются силиконы с твердостью 10-15 ShA.

Этап 2. Учет типа литьевого материала.

Высоконаполненные и абразивные материалы (например, с кварцевым песком). Рекомендуются более жесткие силиконы (40-50 ShA), обладающие повышенной стойкостью к истиранию.

Материалы с высокой усадкой при отверждении (например, некоторые полиуретаны): Жесткая форма (35-50 ShA) будет эффективнее противостоять напряжениям усадки, предотвращая коробление отливки.

Литье под вакуумом или давлением. В условиях внешнего давления форма должна сохранять геометрию, поэтому предпочтение отдается силиконам средней и высокой жесткости (от 30 ShA).

Этап 3. Оценка требуемой стойкости формы и условий эксплуатации.

Для мелких серий (до 20 отливок) допустимо использовать силиконы любой жесткости в соответствии с геометрией.

Для средних и крупных серий (50+ отливок) необходим компромисс. Для моделей группы 3 (с обратными углами) следует выбирать наиболее жесткий силикон из допустимого по условиям извлечения диапазона (например, 20-25 ShA вместо 10-15 ShA) для увеличения ресурса.

Подбор жесткости силикона для литьевых форм является многокритериальной задачей, требующей системного анализа. Разработанная методика, основанная на классификации моделей по геометрической сложности и учете технологических параметров литья, позволяет научно обосновать выбор материала.

Литература:

1. Руктуев А. А., Лазуренко Д. В. Технологии аддитивного производства: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2023. – 99 с.
2. Дремухин М. А., Наговицин В. Н. Применение аддитивных технологий в машиностроении для изготовления формообразующей оснастки // Новые материалы и технологии в космической технике – 2022. - №1 (39). – с. 21-28.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ ПАСТООБРАЗНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

К. П. Садчиков

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, kirill-sadchikov@yandex.ru

Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н., доцент

Работа посвящена проектированию экструдера для трехмерной печати пастообразными материалами с целью получения заготовок для последующего изготовления технической керамики. Основное внимание уделяется созданию конструкции экструдера, совместимой с моделями 3D-принтеров типа TRONXY Moore 1.

In this paper, we explore the task of designing an extruder for three-dimensional printing with paste-like materials, focusing on enhancing final product quality and extending the scope of additive technologies. Special attention is given to the design of an extruder compatible with models like TRONXY Moore 1.

Современные технологии аддитивного производства позволяют создавать изделия сложной формы с уникальными свойствами. Группу аддитивных технологий для печати пастой принято называть PDM (paste deposition modeling). Li, Moore и др. в своей работе [1] приводят классификацию экструдеров для технологии PDM (Рисунок 1).

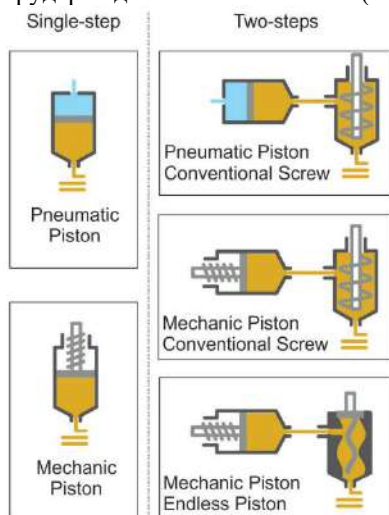


Рис. 1 – Классификация экструдеров для технологии PDM [1]

Целью данной работы является проектирование экструдера для трехмерной печати пастообразными материалами с целью повышения качества изготавливаемых объектов и расширения области применения аддитивных технологий.

Проектирование экструдеров для работы с такими материалами остается актуальной задачей, поскольку требует учета множества факторов, включая вязкость материала, скорость подачи и точность позиционирования. В статьях [2, 3] построены математические модели экструзии, анализ которых выявил корреляцию между скоростью подачи пасты и давлением в матрице получаемого изделия, и показал, что повышенное давление и температура повышают эффективность экструзии, в то время как большие диаметры сопел и подачи снижают сопротивление потоку и повышают стабильность экструзии.

Основными задачами на начальной стадии нашей работы являются:

1. Анализ существующих конструкций экструдеров для трехмерной печати пастообразными материалами.
2. Выявление преимуществ и недостатков различных типов экструдеров (плунжерные, шнековые, комбинированные).
3. Выбор конструктивного решения экструдера и изготовление рабочего прототипа.
4. Экспериментальная проверка работоспособности предложенного решения и оценка его эффективности.

В ходе работы был проведен анализ литературных источников. В дальнейшем планируется моделирование процессов экструзии, экспериментальные испытания прототипов экструдеров и систем подачи. Существует несколько успешных примеров работ в этом направлении. В статьях [4, 5] представлены разработки экструдеров для паст, которые представляют собой доработку, «дооснастку» уже существующего принтера с открытым исходным кодом.

В нашей работе, изготовление рабочего прототипа подразумевает использование коммерчески доступного 3D-принтера для работы с пастообразными материалами (TRONXY Moore 1) путем доработки его экструдера и системы подачи, что позволит использовать шликеры для производства технической керамики.

Результаты исследования будут использованы при производстве технической керамики и композитов на её основе.

Литература:

1. Andres Ruscitti. A review on additive manufacturing of ceramic materials based on extrusion processes of clay pastes [Electronic resource]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/345035328_A_review_on_additive_manufacturing_of_ceramic_materials_based_on_extrusion_processes_of_clay_pastes (accessed: 19.10.2025).
2. Golman B. Modeling and Numerical Study of Ceramic Paste Extrusion [Electronic resource] / B. Golman, P. Skrzypacz, W. Julklang. // MATEC Web of Conferences. – 2021. – Т. 333. – С. 02011. – URL: <https://www.matec-conferences.org/10.1051/mateconf/202133302011> (accessed: 16.11.2025).
3. Kim, D. Mathematical Modeling and Simulation of Adaptive Nozzle Design in Material Extrusion / D. Kim, S. J. Park, S. Moon // Materials. – 2025. – Т. 18. – С. 4954.
4. Amza, C. Paste Extruder—Hardware Add-On for Desktop 3D Printers [Electronic resource] / C. Amza, A. Zapciu, D. Popescu. – Text :

electronic // Technologies. – 2017. – Vol. 5. – № 3. – P. 50. – URL: <https://www.mdpi.com/2227-7080/5/3/50> (accessed: 12.11.2025).

5. Effective, versatile and inexpensive extruder system for direct ink writing of high-viscosity pastes / P. Rodríguez-Lagar, A. Reguera, R. Llamas-Unzueta [и др.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2024. – Т. 131. – С. 1-15.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН НА ИХ СТОЙКОСТЬ

Б. А. Стрепков

Новосибирский государственный технический университет, г.

Новосибирск, Baga171mail.3@mail.ru

Научный руководитель: Рахимьянов А. Х., к.т.н.

В данной работе рассмотрены вопросы обеспечения стойкости режущих пластин за счет выбора оптимальной геометрии, показано влияние элементов геометрии (передний и задний углы, радиус при вершине, форма пластины) на износостойкость в условиях механической обработки резанием. Результатом сравнительных исследований должны стать рекомендации, позволяющие целенаправленно повысить стойкость инструмента, производительность и экономическую эффективность производства.

This study investigates the improvement of cutting insert durability by optimizing their geometry. The impact of key geometric parameters—such as rake and relief angles, corner radius, and insert shape—on wear resistance during machining is analyzed. The findings from comparative research are intended to provide guidelines for significantly increasing tool life, productivity, and manufacturing economic efficiency.

В условиях современного машиностроения для повышения эффективности, качества обработки и снижения совокупных производственных затрат применяется комплексный подход к оптимизации производственных процессов. Известно, что ключевые пути такой оптимизации включают: проектирование специализированных станков, в том числе оснастки: подбор режущего инструмента под конкретные технологические задачи; а также рационализацию режимов резания [1]. С развитием высокопроизводительных технологий механической обработки растёт потребность в инструменте, способном работать при повышенных скоростях резания, переменных нагрузках и при обработке труднообрабатываемых материалов. Поэтому целенаправленный выбор геометрии режущих пластин позволяет напрямую влиять на такие

критически важные параметры, как стойкость инструмента, стабильность и производительность процесса обработки и качество получаемой поверхности, что напрямую отражается на экономической эффективности производства.

Несмотря на широкий ассортимент стандартизированных режущих пластин, на большинстве машиностроительных предприятий их подбор часто осуществляется на основе производственного опыта или ограниченных каталоговых данных. Отсутствует систематизированная методика выбора оптимальной геометрии, учитывающая взаимное влияние всех её параметров (передний и задний углы, радиус при вершине, форма пластины) на характер износа и допустимые режимы резания для конкретных условий обработки. Это приводит к неполному использованию ресурса инструмента, необоснованным простоям оборудования и росту затрат на оснастку.

Как известно, стойкость режущей пластины определяется её способностью сохранять режущие свойства в течение заданного времени работы [2]. Геометрия пластины является фактором, комплексно влияющим на распределение тепловых и силовых нагрузок, характер отвода стружки, виброустойчивость и, как следствие, на допустимую скорость резания. Согласно классическим работам [3] и современным исследованиям [4], на стойкость и производительность влияет не один параметр, а их совокупность:

1. Главный передний угол. Пластины с положительным передним углом характеризуются острой режущей кромкой, что обеспечивает снижение сил резания и улучшенное образование стружки. Это способствует более эффективному теплоотводу, позволяет повышать скорость резания и подачу, однако, как показано, приводит к снижению прочности режущей кромки [5]. В свою очередь, известно, что пластины с отрицательным углом обладают повышенной прочностью и стойкостью к ударным нагрузкам, что критично при прерывистом резании, однако генерируют больше тепла и ограничивают скорость резания из-за возросших усилий [6];

2. Главный задний угол. Величина заднего угла предотвращает трение задней поверхности инструмента об обработанную поверхность заготовки. Выявлено, что увеличение заднего угла снижает трение и тепловыделение, это косвенно позволяет работать на более высоких скоростях. Однако, как и с передним углом, происходит это за счёт уменьшения сечения и прочности режущей кромки, поэтому важен поиск оптимального баланса [7];

3. Радиус при вершине. Является одним из наиболее значимых параметров. Обосновано это тем, что большой радиус при вершине

повышает прочность режущей кромки, улучшает отвод тепла с площади контакта и положительно влияет на качество поверхности, позволяя увеличить подачу [8]. Однако выявлено, с ростом радиуса пропорционально растёт радиальная составляющая силы резания, что может привести к возникновению вибраций и ограничению скорости резания, особенно при обработке нежестких заготовок [9]. Малый радиус, напротив, снижает вибрации, но концентрирует тепловые и силовые нагрузки в одной точке, ускоряя износ;

4. Форма (профиль) пластины. Выбор формы напрямую связан с прочностью режущей кромки и стабильностью процесса:

- ромбические пластины (например, тип *C*) с большим углом при вершине (80°) демонстрируют повышенную стойкость за счёт более прочной режущей кромки и лучше подходят для черновой обработки на высоких подачах;

- пластины с острыми углами (например, тип *I*) с малым углом при вершине (35°) обеспечивают лучший доступ к обрабатываемой поверхности, минимизируют радиальные усилия и позволяют вести обработку на повышенных скоростях, но требуют снижения подач из-за меньшей прочности вершины;

- треугольные пластины (например, тип *T*) предлагают компромисс между прочностью и универсальностью, но имеют меньшую стойкость из-за острой вершины по сравнению с ромбическими аналогами с тупыми углами;

- сферические пластины (например, тип *R*) обладают максимальной прочностью вершины, но создают наибольшие радиальные усилия, что накладывает ограничения по скорости и глубине резания для избегания вибраций.

Таким образом, выявление наиболее износостойкой режущей пластины за счёт оптимального комплекса геометрических параметров является ключевой задачей, позволяющей целенаправленно повысить производительность обработки и увеличить время стойкости режущей пластины. Проведение сравнительных исследований с анализом взаимного влияния геометрии на механизмы износа в идентичных условиях резания позволяет сформулировать обоснованные рекомендации, позволяющие рационально использовать режущие пластины и ведущие к экономии ресурсов и максимальному использованию потенциала режущего инструмента.

Литература:

1. Кожевников Д. В. Современные тенденции в технологии машиностроения // Вестник машиностроения. – 2021. – № 5. – С. 110–115.

2. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
3. Trent E. M. Metal Cutting / E. M. Trent, P. K. Wright. – 4th ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. – 456 p.
4. Petrov A. A. Complex Approach to Cutting Tool Geometry Optimization // Materials Today: Proceedings. – 2023. – Vol. 45. – P. 89–94.
5. Шаумян Г. А. Влияние геометрии резца на стойкость инструмента при точении жаропрочных сплавов // Резание и инструменты в технологических системах. – 2022. – Вып. 95. – С. 32–38.
6. Горбацевич А. Ф. Резание материалов и режущий инструмент. – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 567 с.
7. Грановский Г. И. Основы проектирования и эксплуатации режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 2020. – 456 с.
8. Рыжкин А. А. Тепловые процессы в зоне резания. – М.: Наука, 2017. – 198 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под ред. А. М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2018. – 944 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИЦИДОВ НИОБИЯ

Чжан Тун

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 1438373471@qq.com**

Научный руководитель: Головин Е. Д., к.т.н., доцент

Работа посвящена исследованию процесса механического легирования в шаровой мельнице для получения наноструктурированных порошков силицидов ниобия (Nb-Si) – перспективных сверхвысокотемпературных материалов. Основное внимание уделено изучению влияния параметров процесса на фазовый состав и микроструктуру порошков.

The work is devoted to the study of the process of mechanical alloying in a ball mill for the production of nanostructured powders of niobium silicides (Nb-Si), promising ultrahigh-temperature materials. The main attention is paid to studying the effect of process parameters on the phase composition and microstructure of powders.

Сверхвысокотемпературные материалы на основе силицидов ниобия рассматриваются в качестве перспективной замены никелевых жаропрочных сплавов для компонентов газотурбинных двигателей нового поколения благодаря высокой температуре плавления (~2480°C),

низкой плотности, превосходной прочности при высоких температурах и стойкости к окислению [1, 2]. Однако традиционные методы получения, такие как плавка, приводят к макросегрегации и не позволяют преодолеть низкую пластичность при комнатной температуре [3].

Механическое легирование (МЛ) представляет собой технологию твердофазного легирования при комнатной температуре, позволяющую получать однородные наноструктурированные и аморфные порошки, что потенциально может улучшить свойства материала [4].

Целью данной работы является исследование процесса механического легирования системы Nb-Si в высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице и установление взаимосвязи между параметрами процесса, микроструктурой и фазовым составом получаемых порошков.

Основными задачами исследования являются:

1. Оптимизация ключевых параметров процесса МЛ: времени измельчения, скорости вращения и соотношения шары/порошок.

2. Изучение эволюции микроструктуры и фазового состава порошков в процессе МЛ.

3. Исследование термической стабильности механически легированных порошков и синтеза целевых фаз силицидов ниобия при последующем отжиге.

В работе использовались порошки ниобия ($\geq 99.5\%$, 10-50 мкм) и кремния ($\geq 99.9\%$, 1-10 мкм). Легирование проводили в планетарной шаровой мельнице в атмосфере аргона. Для анализа порошков применяли рентгенофазовый анализ (РФА), сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) и дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК).

Результаты показали, что процесс МЛ имеет стадийный характер. На начальном этапе формируются слоистые композитные частицы Nb/Si. При увеличении времени измельчения происходит механически индуцированная диффузия и образование аморфной фазы. Дальнейшее измельчение приводит к выделению метастабильных фаз и, в конечном счете, стабильных силицидов ниобия (Nb_5Si_3 и NbSi_2). Увеличение времени измельчения и скорости вращения способствует получению более однородного и мелкозернистого порошка. Оптимальными параметрами процесса признаны: соотношение шары/порошок 20:1, скорость вращения 350 об/мин, время измельчения 30-40 ч. ДСК-анализ выявил температурные диапазоны кристаллизации аморфной фазы и фазовых превращений, что позволило разработать режимы отжига для получения целевой двухфазной структуры (твердый раствор Nbss + Nb_5Si_3).

Таким образом, в работе установлена взаимосвязь «параметры процесса МЛ – микроструктура – фазовый состав – термическая стабильность» для системы Nb-Si. Полученные результаты закладывают теоретическую и экспериментальную основу для создания высокоэффективных композиционных материалов на основе силицида ниобия методами порошковой металлургии.

Литература:

1. Bewlay B. P., Jackson M. R., Lipsitt H. A. The Nb-Si-Nb₅Si₃ eutectic as a candidate system for in situ composites // Metallurgical and Materials Transactions A. 1996. Т. 27. № 12. С. 3801–3808.
2. Perepezko J. H., Sakidja R., Kim S., et al. Nb-silicide based composites: Alloy development and process design // JOM. 2012. Т. 64. № 3. С. 323–334.
3. Geng J., Tsakiroopoulos P., Shao G. A study of the effects of Hf and Sn additions on the microstructure of Nbss/Nb₅Si₃ based in situ composites // Intermetallics. 2006. Т. 14. № 3. С. 227–235.
4. Suryanarayana C. Mechanical alloying and milling // Progress in Materials Science. 2001. Т. 46. № 1-2. С. 1–184.
5. Kumar K. S., Pang L., Mendis C. L., et al. Microstructural evolution in mechanically alloyed Nb-Si powders // Materials Science and Engineering: A. 2010. Т. 527. № 16-17. С. 3954–3961.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ПУСКА**

М. С. Архипова, И. В. Дулов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 89230026216@mail.ru**

Тенденции развития малой распределенной генерации и создания, локальных систем энергоснабжения определяют актуальность задач мониторинга и управления пусковыми режимами мощных асинхронных двигателей для обеспечения их надежного функционирования и соответствия установленным стандартам качества электроэнергии [1].

Trends in the development of small-scale distributed generation and the creation of local power supply systems make it important to monitor and control the starting modes of powerful asynchronous motors to ensure their reliable power supply and compliance with established power quality parameters.

Введение. Существует несколько методов для определения электрических параметров асинхронных машин. Наиболее распространенные из них включают использование паспортных данных, опыты холостого хода и короткого замыкания, а также методы активной и пассивной идентификации [2, 3].

Использование паспортных данных для расчета электрических и механических параметров асинхронного двигателя сопряжено с увеличением погрешности, так как анализ выполняется на базе усреднённых параметров, характерных для всей модели в целом, без использования реальных эксплуатационных характеристик конкретного устройства. Также для облегчения расчетов обычно используют суммарные значения активного и реактивного сопротивления двигателя и условно делят их пополам. Такой приём существенно упрощает процедуру, но делает итоговые оценки лишь приближенными.

Опыты холостого хода и короткого замыкания дают высокую точность, однако их осуществление требует выведения двигателя из технологического процесса, что прерывает производственный процесс. Помимо этого, для проведения подобных испытаний необходима специально оборудованная площадка, а также привлечение квалифицированных специалистов, что сопряжено с высокими

затратами. Такие трудоёмкие процедуры нецелесообразны и практически неприменимы для контроля пусковых характеристик.

Методы активной идентификации требуют внедрение частотного преобразователя, однако это значительно повышает стоимость системы, и не все асинхронные машины рассчитаны для его установки, поэтому такие методы также не всегда целесообразны. Пассивные алгоритмы, хотя и менее точны, позволяют проводить идентификацию без прерывания работы двигателя, что важно для локальных систем энергоснабжения.

Материалы и методы. В работе предложен метод идентификации, который позволит получить необходимые электрические параметры без дополнительных затрат и вмешательства в работу двигателя.

Предложенная методика основывается на параметрической идентификации, которая использует измерения тока и мощности на статоре в процессе пуска для определения активных и индуктивных сопротивлений статора и ротора. Для проверки эффективности предложенного метода была разработана цифровая модель пуска асинхронного двигателя в программной среде MATLAB Simulink, представленная на рисунке 1. Система моделирования использует трехфазный источник напряжения, который подключается к асинхронному двигателю через блоки измерений тока и напряжения. Это позволяет в реальном времени получать данные о поведении двигателя и оценивать его параметры.

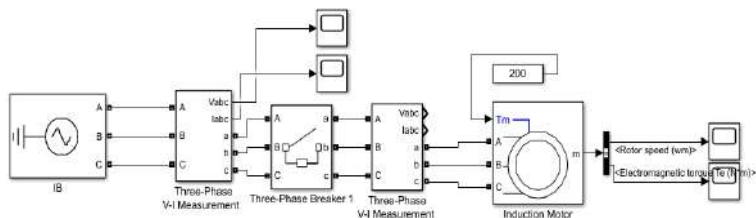


Рис.1 Цифровая модель пуска асинхронного двигателя в среде MATLAB Simulink

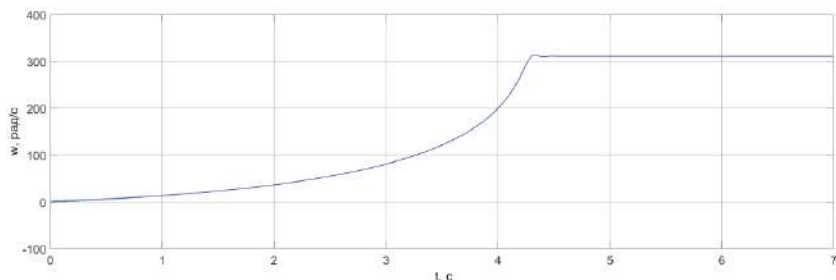


Рис.2 Изменение угловой скорости ротора АД в процессе пуска

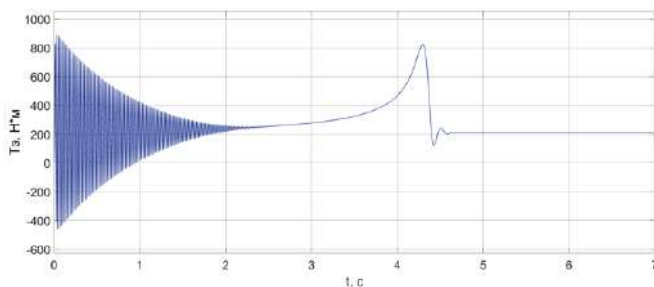


Рис.3 Электромагнитный момент АД

На рисунках 2 и 3 представлены результаты моделирования угловой скорости ротора и электромагнитного момента для асинхронного двигателя (АД) соответственно.

Запуск асинхронного двигателя с механической нагрузкой характеризуется кратковременным режимом, близком к короткому замыканию. В этот период двигатель потребляет высокий пусковой ток, а скорость вращения практически не изменяется. Скольжение принимается равным единице, а потребляемая мощность в основном рассеивается в виде тепла и потерь в магнитном поле. Анализ измеренных параметров в этом режиме позволяет идентифицировать электрические характеристики асинхронного двигателя в процессе пуска.

При пуске асинхронного двигателя, когда скольжение равно единице, полное сопротивление (активное и реактивное) можно определить, используя упрощенную Г-образную схему замещения (рис.4).

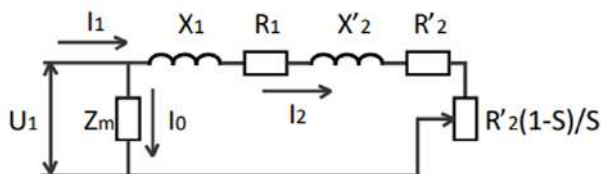


Рис.4 Упрощенная Г-образная схема замещения асинхронного двигателя

Для получения однозначного решения применялся метод наименьших квадратов, заключающийся в минимизации суммы квадратов отклонений функций от определяемых переменных. Полученная по данному принципу формула имеет следующий вид:

$$R_1 = R'_2 = \frac{\Sigma(P \cdot I^2)}{6 \Sigma I^4}; X_1 = X'_2 = \frac{\Sigma(Q \cdot I^2)}{6 \Sigma I^4}.$$

После включения в базовую ветвь модели трехфазного источника питания, измерительных приборов, коммутационного аппарата и электрического двигателя, схема приобретает полноценную подсистему для сбора и обработки электрических сигналов (рис.5).

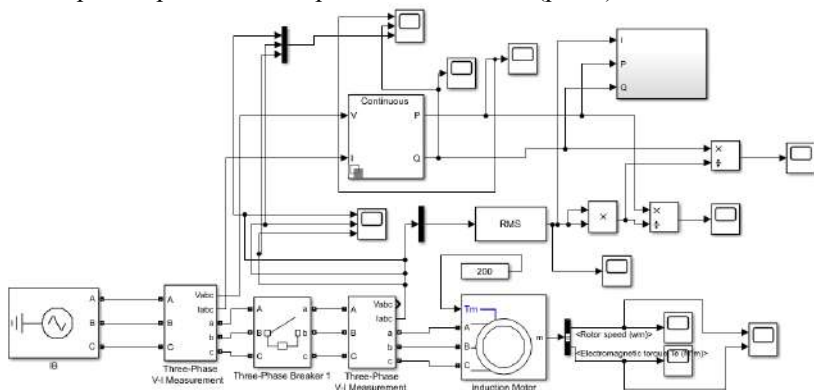


Рис.5 Цифровая модель в MATLAB

Идентификация параметров проводится на основании анализа осциллограмм токов и напряжений в переходном процессе (интервал $t = 0 \dots 1.5 \text{ c}$), когда ротор находится в режиме, близком к короткому замыканию (скольжение $s \approx 1$). Длина интервала идентификации зависит от параметров двигателя и от величины тормозного момента. Слишком короткий интервал может не дать полной информации о

переходных процессах, а слишком длинный – учесть данные установившегося режима, что снижает чувствительность алгоритма к измеряемым параметрам.

Используя простейшую схему и метод наименьших квадратов, можно определить параметры R_1 , R'_2 , X_1 и X'_2 электрической цепи, не прерывая работу двигателя.

Результаты моделирования показали, что погрешности в расчётах составляют $\delta_{R_1} = 7,65\%$, $\delta_{R'_2} = 56,63\%$ и $\delta_{X_1} = \delta_{X_2} = 2,37\%$ и не зависят от внешней механической нагрузки, что подтверждает эффективность разработанного алгоритма. Имеется значительная погрешность при определении активного сопротивления ротора, поэтому здесь необходимо дополнительное исследование. В остальном, небольшой процент расхождения свидетельствует о достаточной точности выбранного алгоритма идентификации параметров.

Заключение. Таким образом, с использованием MATLAB/Simulink разработана цифровая модель, имитирующая поведение АД при пуске. Это позволяет провести все необходимые испытания и анализ переходных процессов, полностью отказавшись от использования физического дорогостоящего оборудования.

Литература:

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1920> (Дата обращения: 15.03.2025 г.).
2. Дулов И. В. Контроль успешности пуска асинхронного двигателя в энергосистеме малой мощности: дис. ... канд. техн. наук: 2.4.3 / Дулов Илья Вадимович; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2024. – 178 с.
3. Дилигенская А. Н. Идентификация объектов управления: учеб. пособие / А. Н. Дилигенская. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2009. – 136с.

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Д. А. Большаков, В. М. Зырянов

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, den.bolsshakov.11@mail.ru

Появление в составе современных энергосистем принципиально нового элемента – быстродействующих систем накопления энергии (СНЭ) – поставило задачу их моделирования. Если в России математические модели уже активно используются в научных исследованиях и инженерных расчетах, то физические модели, позволяющие проводить апробацию разрабатываемых законов и алгоритмов управления СНЭ в условиях «живой» энергосистемы, в настоящее время нет. Решение вопроса – полноценная маломасштабная СНЭ в составе электродинамической модели энергосистемы (ЭДМ).

The appearance of a fundamentally new element in modern power systems – high-speed energy storage systems (ESS) - has set the task of modeling them. While mathematical models are already actively used in scientific research and engineering calculations in Russia, there are currently no physical models that allow testing of the developed laws and control algorithms of the ESS in a "living" energy system. The solution to the problem is a full-fledged small-scale ESS as part of an electrodynamic model of an energy system (EDM).

Введение. Современные быстродействующие системы накопления энергии (СНЭ) представляют собой многофункциональные энергетические устройства, способные извлекать электроэнергию из энергосистемы, хранить ее в какой-либо форме и возвращать в электрическую сеть, обеспечивая управляемый по заданным алгоритмам и законам энергообмен в темпе переходных процессов. Выбор алгоритма управления определяется функциями, выполняемыми СНЭ, перечень которых в настоящее время включает несколько десятков актуальных задач, критически важных для стабильной и эффективной работы энергосистемы.

К быстродействующим обычно принято относить СНЭ, в которых связь с энергосистемой осуществляется через полупроводниковые преобразователи электроэнергии, обеспечивающие время отклика не более 5 мс [1, 2, 3]. Такое быстродействие дает им существенное преимущество перед инерционными традиционными средствами управления мощностью, прежде всего, в аварийных ситуациях.

Один из наиболее перспективных типов быстродействующих СНЭ – гибридный накопитель энергии, сочетающий преимущества литий-ионных аккумуляторных батарей (ЛИАБ) и суперконденсаторов (СК).

ЛИАБ обладают высокой удельной энергоемкостью, но ограниченным числом циклов заряд/разряд. СК, при относительно низкой удельной энергоемкости, способны отрабатывать на порядки большее число циклов. Такое сочетание позволяет оптимизировать работу СНЭ по сроку службы и стоимости, распределяя относительно низкочастотную нагрузку на ЛИАБ, а более высокочастотную – на СК.

Электродинамическая модель НГТУ. Кафедра АЭЭС НГТУ располагает электродинамической моделью энергосистемы, на базе которой функционирует испытательный центр, предоставляющий возможность тестирования, отладки и испытания опытных образцов новейшего оборудования и автоматики, исследования и апробирования алгоритмов управления [4].

Физическая модель СНЭ в составе ЭДМ расширяет ее функционал для решения актуальных задач современных электроэнергетических систем, связанных с появлением в их составе быстродействующих накопителей энергии. При физическом моделировании таких СНЭ соблюдение критериев подобия практически не требуются из-за их малого времени отклика. Рекомендуется использовать малогабаритную СНЭ с параметрами, согласованными с основным оборудованием ЭДМ и оснащенную всеми типовыми подсистемами промышленной СНЭ.

Назначение физической модели СНЭ в составе ЭДМ. Физическая модель СНЭ в составе ЭДМ необходима для разработки, испытания и отладки законов и алгоритмов управления СНЭ в составе энергосистемы для целей противоаварийной автоматики и управления динамическими переходами, а также для демонстрации эффективности СНЭ, как новейшего средства управления, потенциальным заказчикам.

Наиболее актуальными задачами, которые могут быть решены и доведены до уровня технологий на физической модели СНЭ в составе ЭДМ в настоящее время являются: задачи противоаварийного управления, стабилизации частоты и напряжения, сглаживание резкопеременной нагрузки, что особо востребовано для автономных энергосистем.

Физическая модель гибридной СНЭ на базе ЛИАБ и СК. Для физической модели СНЭ предлагается гибридный аккумулирующий элемент, обеспечивающий минимальную энергоемкость и способность реагировать на динамические процессы в энергосистеме. Данный подход эффективнее и дешевле однокомпонентных решений.

Технические характеристики ЛИАБ и СК, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики ЛИАБ и СК

Тип	Уд. энергоемкость, Вт·ч/кг	Уд. мощность, Вт/кг	Саморазряд в день, %	Количество циклов
ЛИАБ	200	150-2000	0,1	200-3000
СК	15	500-10 000	20-30	1 000 000

Параметры модели гибридной СНЭ обусловлены составом и мощностью основного силового оборудования ЭДМ НГТУ, а также задачами, которые эта модель должна решать. Учитывая это, мощность СНЭ выбрана равной 3 кВт.

На рисунке 1 представлена структурная схема модели СНЭ, в которой только один двунаправленный преобразователь, к которому напрямую подключаются ЛИАБ и через дополнительный промежуточный DC/DC преобразователь – батарея СК. DC/DC преобразователь обеспечивает согласование напряжения СК, изменяющегося в процессе энергообмена в широком диапазоне, с напряжением ЛИАБ, которое изменяется незначительно. AC/DC преобразователь осуществляет управление мощностью энергообмена с энергосистемой.

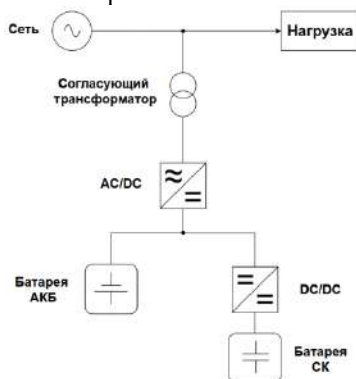


Рис. 1 – Структурная схема модели СНЭ

Аккумулирующий элемент физической модели СНЭ состоит из 40 литий-железо-фосфатных (LFP) ячеек, объединенных в батарею. Батарея состоит из 4 параллельных модуля по 10 последовательно соединенных ячеек. Такая конструкция позволяет легко изменять энергоемкость модели СНЭ, добавляя или убирая модули.

В состав физической модели гибридной СНЭ входят как готовые промышленные блоки, так и специализированное оборудование,

требующее совместной разработки со специалистами в соответствующей области:

1) Специально разработанный согласующий трансформатор с номинальной мощностью 3 кВА предназначен для преобразования напряжения с 16 В до 220 В (коэффициент трансформации равен 14).

2) Двухнаправленный преобразователь AC/DC с номинальной мощностью 3 кВт преобразует постоянное напряжение 32 В в трехфазное переменное напряжение 16 В. Устройство не имеет готовых аналогов и требует изготовления на заказ.

3) Аккумуляторная батарея на основе LFP ячеек от ООО «НПЦ «Энергоавтоматика» (Россия) с номинальным напряжением 3,2 В и емкостью 32 А·ч. Общая мощность батареи составляет 4,1 кВт, а энергоемкость – 4,1 кВт·ч, что полностью соответствует требованиям к разрабатываемой модели СНЭ в составе ЭДМ.

4) Суперконденсаторная батарея, состоящая из 6 параллельно соединенных модулей МСК-2,5-27 производства ООО «Феникс» (Россия) с номинальной емкостью 2,5 Ф, номинальным напряжением 27 В и энергоемкостью 0,25 Вт·ч. Общая мощность батареи достигает 3,4 кВт, а суммарная энергоемкость – 1,5 Вт·ч.

5) Регулятор постоянного напряжения DC/DC, обеспечивающий на выходе напряжение 32 В и выходную мощность до 3 кВт. Также требует индивидуального изготовления.

6) Система управления СНЭ «верхнего» и «нижнего» уровня. Разработка системы требует совместной работы с профильными специалистами (например, ООО «РиМтехэнерго»).

Заключение. Внедрение СНЭ, как нового элемента энергосистемы, требует разработки адекватных инструментов для его исследования. Предлагается эффективный инструмент – физическая модель СНЭ в составе электродинамической модели энергосистемы НГТУ с гибридным аккумулирующим элементом (ЛИАБ и СК).

Предложена структурная схема физической модели СНЭ, сформулированы задачи, решаемые с ее помощью на ЭДМ, а также рассчитаны параметры ключевых компонентов и составлен их перечень.

Литература:

1. Разработка математической модели и методики выбора параметров накопителя энергии как элемента энергосистемы: диссертация ... к.т.н.: 05.14.02 / Пранкевич Глеб Александрович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»]. - Новосибирск, 2021. - 159 с.

2. Разработка способов и алгоритмов управления накопителями энергии для стабилизации частоты в автономных энергосистемах: диссертация ... кандидата технических наук: 02.04.03 / Нестеренко Глеб Борисович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»]. - Новосибирск, 2023. 175с.

3. Load leveling for a diesel generator using an energy storage and instantaneous power theory / M. A. Dybko, S. V. Kuchak, P. A. Bachurin, S. V. Brovanov, S. A. Kharitonov // The 19 international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, EDM 2018: proc., Erlagol, Altai, 29 June – 3 July 2018. – IEEE Computer Society, 2018. – P. 567-573. doi: 10.1109/EDM.2018.8434936.

4. Паспорт. Центр испытаний устройств контроля и управления режимами электроэнергетических систем; Новосибирск, НГТУ, 2011.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В РЕЖИМЕ «ОНЛАЙН»

Д. В. Герцев

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, gersevdmitriy@gmail.com

Научный руководитель: Фролов М. Ю., к.т.н., доцент

В работе приводится анализ методов параметрической идентификации синхронного генератора для задач управления режимом. Исследование показало, что использование подпространственных методов идентификации имеет большой потенциал при определении параметров в темпе процесса. Также, была составлена математическая модель пространства состояний синхронного генератора.

The paper considers an analysis of the methods of parametric identification of a synchronous generator for mode control tasks. The research showed that the use of subspace identification methods has great potential for determining parameters at the process rate. Additionally, a mathematical model of the state space of a synchronous generator was developed.

Поскольку объем управляющих воздействий противоаварийной автоматики выполняется на основе расчёта режима на математических моделях электрических сетей, параметры которых, в свою очередь зависят от точности параметров, заданных при расчете, возникает задача верификации расчётных моделей, в частности такого элемента энергосистемы как синхронный генератор с целью увеличения адекватности действий автоматики. Чем адекватнее система управления

будет реагировать на различного рода возмущения, тем выше будет экономичность и надежность энергосистемы в целом [1].

В работе А.С. Бердина и соавторов [2] приведён ряд широко используемых методов идентификации параметров синхронного генератора, применяемых в том числе и в режиме реального времени. К числу таких методов относятся анализ уравнения движения, цифровая фильтрация, метод наименьших квадратов и его рекурсивная версия, методы активной идентификации и алгоритмы искусственного интеллекта. Авторы отмечают, что часть этих подходов применимы для онлайн-идентификации параметров синхронного генератора, однако их эффективность существенно зависит от качества априорной модели генератора, предварительных предположений о структуре объекта и параметров шума, а также от численной устойчивости алгоритмов при изменении режима работы. Эти ограничения затрудняют использование классических методов при идентификации параметров СГ в условиях динамически изменяющихся режимов и ограниченного объёма данных.

В связи с этим всё большее внимание уделяется подпространственным методам идентификации, подробно изложенным в монографии Т. Катаямы *Subspace Methods for System Identification* (2005). Основное преимущество этих методов заключается в том, что структура модели системы определяется непосредственно на основе анализа входных и выходных сигналов без необходимости априорного задания уравнений движения или параметров возбуждения. Подпространственные методы используют сингулярное разложение матриц Ханкеля и другие инструменты линейной алгебры, что обеспечивает высокую численную устойчивость, устойчивость к шумам и возможность пошагового обновления модели. Благодаря отсутствию необходимости решения нелинейных оптимизационных задач и прямому вычислению матриц состояния, они особенно эффективны для задач онлайн-идентификации, которые в свою очередь задают требование высокой скорости и адаптивности вследствие необходимости принятия решений в темпе возмущающего воздействия.

Среди подпространственных алгоритмов наиболее предпочтительным в случае идентификации в режиме реального времени является метод MOESP (Multi-Output Error State-Space) ввиду наибольшей устойчивости к входным шумам и возможности надежно выделять подпространство состояний непосредственно из данных. Его применение для решения задачи идентификации параметров синхронного генератора подробно рассмотрено в диссертации В.А. Тащилина [4], где показано, что метод позволяет формировать эквивалентные динамические модели энергосистемы по

экспериментальным данным токов и напряжений без априорной информации о параметрах генератора. В работах В. Wu и O.P. Malik [5, 6] метод MOESP дополнен рекурсивной реализацией на основе алгоритма PAST (Projection Approximation Subspace Tracking), что обеспечивает возможность обновления параметров модели в режиме реального времени. Результаты показали высокую точность идентификации и устойчивость к шумовым возмущениям, что делает MOESP одним из наиболее перспективных методов для адаптивных систем управления возбуждением и демпфирования электромеханических колебаний.

Математически, пространство состояний можно представить с помощью следующей системы:

$$\begin{cases} x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases}, \quad (1)$$

где $x(t) \in \mathbb{R}^n$ – вектор переменных состояния; $y(t) \in \mathbb{R}^p$ – вектор переменных наблюдения; $u(t) \in \mathbb{R}^m$ – вектор переменных управления; $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ – матрица состояния, $B \in \mathbb{R}^{n \times m}$ – матрица управления; $C \in \mathbb{R}^{p \times n}$ – матрица наблюдения; $D \in \mathbb{R}^{p \times m}$ – матрица прямого воздействия.

Уравнение движения ротора, в свою очередь имеет следующий вид:

$$T_j \dot{\omega} + K_d \omega = \Delta P \quad (2)$$

где T_j – постоянная инерции синхронного генератора; ω – синхронная угловая скорость; K_d – коэффициент демпфирования; ΔP – разность между механической мощностью турбина и электрической мощностью на шинах генератора.

Также, следует заметить, что синхронную угловую скорость ω можно определить с помощью следующего выражения:

$$\dot{\delta} = \omega \quad (3)$$

где δ – угол между векторами внутренней ЭДС и напряжения на шинах генератора.

Тогда пространство состояний синхронного генератора можно записать с помощью системы следующего вида:

$$\begin{cases} \dot{\omega} = -\frac{K_d}{T_j} \omega + \frac{1}{T_j} \Delta P \\ \dot{\delta} = \omega \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, была получена математическая модель, описывающая пространство состояний синхронного генератора, которая в дальнейшем может использоваться для задачи идентификации параметров.

Был произведен анализ литературы, который показал, что, несмотря на наличие ряда широко используемых методов идентификации в реальном времени, подпространственные подходы, и прежде всего метод MOESP, обладают более высокой степенью универсальности и устойчивости при работе в реальных условиях энергосистемы, где структура модели и параметры могут существенно изменяться во времени. Также, была получена математическая модель, описывающая пространство состояний синхронного генератора.

Литература:

1. Фролов М. Ю., Степанович Р. Ю., Лизалек Н. Н., Дулов И. В. Оперативная идентификация электромеханических параметров синхронного генератора для задач интеллектуального управления // *Problemele Energeticii Regionale*. – 2022. – с.15–25.
2. Бердин, А. С., Моисейченков А. Н., Мильман Ю. В. Обзор методов определения параметров моделей синхронных генераторов // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика»*. – 2020. – Т. 20, №4. – с.103–111.
3. Катаяма Т. *Subspace Methods for system Identification*. – London: Springer-Verlag, 2005 – 345 с.
4. Тащилин В. А., Анализ и выбор параметров стабилизации устройств регулирования возбуждения с использованием методов идентификации: дис. ... канд. техн. Наук. – Екатеринбург, 2018 – 184 с.
5. Wu B., Zhao P., Malik O. P., Identification of a State-Space Model for a Synchronous Machine // *Proceeding of the 16th IFAC World Congress on Automatic Control, Prague, 2005*. – P. 1271-1276.
6. Wu B., Malik O. P., Multivariable Adaptive Control of Synchronous Machines in a Multimachine Power System // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2006. Vol. 21 No. 1. – P. 188-295.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ КАСКАДА ГЭС В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANYLOGIC

Р. И. Герцог, А. Г. Русина

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, gercogroman1@gmail.com

В данной статье представлена идея улучшения модели каскада ГЭС станций «Памир-1» и «Хорог» в программе AnyLogic с расчетом притока реки Гунт и определением количества испаряемой воды из водохранилища озера Яшилкуль. Предложены методы сбора и обработки гидрологических и метеорологических данных для повышения точности прогнозирования водно-энергетических режимов каскада

This article presents an idea for improving the cascade model of the hydroelectric power stations "Pamir-1" and "Khorog" in the AnyLogic software environment with calculation of the Gunt River inflow and determination of the amount of evaporated water from the Yashilkul Lake reservoir. Methods are proposed for collecting and processing hydrological and meteorological data to increase the accuracy of forecasting water-energy regimes of the cascade.

Актуальность. Обладание полной информацией о количестве притекающей воды и испаряемой воды является критически важной информацией для любых гидроэлектростанций. С этой информацией станции могут прогнозировать запасы в водохранилище и правильно распределять водные ресурсы [1, 2].

В условиях климатических изменений и растущего спроса на электроэнергию точное моделирование водно-энергетических режимов имеет стратегическое значение. Каскады ГЭС в регионе Памира служат как источником возобновляемой энергии, так и обеспечивают водоснабжение и орошение в Центральной Азии, что делает их комплексное управление необходимым [3].

Данная статья развивает модель каскада ГЭС, разрабатываемую на факультете энергетики НГТУ [1, 3, 4]. Идея подсчета притока и испарения появилась после исследования модели каскада ГЭС Памир-1 и Хорог в программе AnyLogic. В прежней модели использовались случайные значения, которые не давали реального представления об испарении и притоке. Предложенный подход, основанный на натурных измерениях и исторических климатических данных, позволит повысить адекватность имитационной модели и надежность прогнозов.

Объект и методы исследования. Объектом исследования стало озеро Яшилкуль, которое является водохранилищем Памира, и река Гунт, которая впадает в него.

Подсчет притока реки будет осуществляться по формуле:

$$Q = A * V$$

где Q – расход реки ($\text{м}^3/\text{с}$), A – площадь поперечного сечения реки (м^2), V – скорость реки ($\text{м}/\text{с}$).

Площадь поперечного сечения реки определяется с использованием эхолотационных измерений. На катере устанавливается эхолотатор, который при движении поперёк течения реки фиксирует глубину воды в каждой точке траектории. Полученные данные о глубине в функции расстояния от берега позволяют восстановить профиль дна и получить точную геометрию сечения русла. Площадь вычисляется численным интегрированием профиля глубин по ширине реки, что обеспечивает высокую точность расчётов (рис. 1).

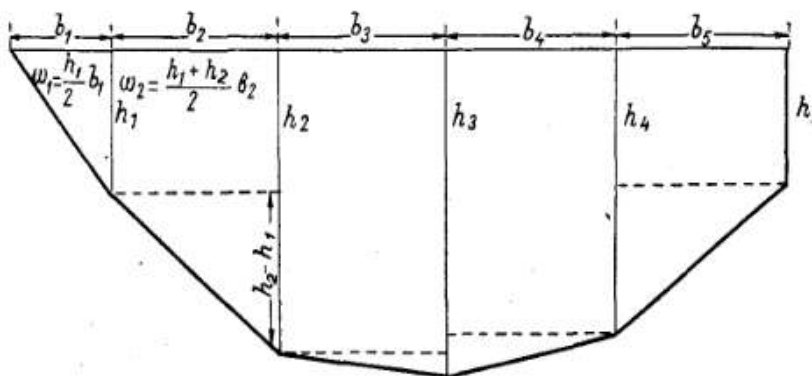


Рис. 1 – Схема вычисления площади водного сечения (h – глубина реки (м), b – ширина участка реки (м), w – площадь участка сечения (м^2))

Для определения скорости течения реки применяются потоковые датчики, размещаемые примерно в середине сечения русла реки для получения среднего значения скорости притока, чтобы усреднить данные между скоростью воды у дна реки и у ее поверхности. Использование единого датчика в центральной части сечения – компромиссное решение, учитывающее как практические ограничения по количеству измерительных приборов, так и необходимость получения репрезентативной оценки средней скорости потока. Таким образом, используя эхолотатор и потоковые датчики в месте впадения Гунта в озеро Яшилькуль, получаем параметры для расчёта расхода воды.

Расчет испарения из водохранилища. Для подсчета испарения из водохранилища необходимо учитывать факторы, влияющие на интенсивность этого процесса:

1. E_0 - испарение (мм/день),
2. R_n - солнечная радиация (МДж/м²/день),
3. γ - психрометрический коэффициент (кПа/°C),
4. T - температура воздуха (°K),
5. u_2 - скорость ветра на высоте 2 м (м/с),
6. P_s - насыщенное водяное паровое давление (кПа),
7. P_a - фактическое водяное паровое давление (кПа),
8. Δ - наклон кривой насыщения паром (кПа/°C).

Для расчета испарения возьмем формулу Пенмана-Монтита [2]:

$$E_0 = 0.408 \cdot R_n + \gamma \cdot 900 / T \cdot u_2 \cdot (P_s - P_a) / (\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2))$$

Этот метод является стандартом в гидрологических расчетах и рекомендуется Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) для оценки испарения в водохозяйственных расчетах [2].

Для получения данных для расчета испарения используются следующие источники:

1. Солнечная радиация – интернет-ресурс: <https://power.larc.nasa.gov/> (NASA POWER);
2. Психрометрический коэффициент, температура и влажность – <https://www.meteoblue.com> (метеорологические сервисы);
3. Температура воздуха – термометр, установленный на станции;
4. Скорость ветра – анемометр/флюгер на станции
5. Фактическое паровое давление — гигрометр.

Насыщенное давление пара определяется из относительной влажности:

$$f = P_a / P_s \cdot 100\%$$

Откуда

$$P_s = P_a \cdot 100\% / f$$

Наклон кривой насыщения рассчитывается по формуле:

$$\Delta = 4098 \cdot P_s / T^2$$

Заключение и перспективы развития.

Разработанный подход позволит получить необходимые данные для прогнозирования объема водохранилища и притока реки для ГЭС каскада Памир-1 и Хорог. Эти данные помогут станциям для планирования расхода воды, оптимизации распределения генерации электричества и повышения надежности энергоснабжения региона.

Цели дальнейшего развития модели:

1. Реализация полного цикла моделирования в среде AnyLogic с интеграцией натурных гидрологических и метеорологических данных.
2. Валидация модели путем сравнения расчетных данных с фактическими показателями работы станций за несколько лет.
3. Разработка модуля долгосрочного прогнозирования запасов воды в условиях климатических изменений.
4. Адаптация методики для других каскадов ГЭС в Центральной Азии.
5. Оценка влияния различных климатических сценариев на водно-энергетические режимы каскада.

Литература:

1. Русина А. Г. Создание имитационной модели для анализа водно-энергетических режимов работы каскада ГЭС на базе программного продукта ANYLOGIC / А.Г. Русина, И.В. Прибыльский, А.Ю. Арестова, С.В. Митрофанов // Электрические станции. — 2022. — № 1 (1086). — С. 13–24.
2. Прибыльский И. В. Основы построения модели каскада ГЭС в программной среде Anylogic / И.В. Прибыльский, И.Ф. Рудюк, Н.А. Иванов; научный руководитель А.Г. Русина // Наука. Технологии. Инновации: сб. научных трудов. Ч. 4. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. — С. 157–161.
3. Иванов Н. А. Агентное моделирование программной среды ANYLOGIC для реализации принципа адресного распределения потоков и потерь мощности / Н.А. Иванов, И.В. Прибыльский, Е.А. Смоленкова; научный руководитель А.Г. Русина // Наука. Технологии. Инновации: сб. научных трудов. Ч. 4. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. — С. 121–124.
4. Сидорова А. В., Черемных А. А., Русина А.Г. Python как инструмент оптимизации режима ГЭС в составе ЭЭС // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – №. 2 (50). – С. 124-137.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ВЫВОДЕ ОБОРУДОВАНИЯ В РЕМОНТ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. А. Горшунов

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, 98sever@mail.ru

Научный руководитель: Секретарев Ю. А., д.т.н., проф.

Разработана программа, предназначенный для моделирования технического состояния электрооборудования, расчета надежности и оценки риска отказов. Программа позволяет выполнять расчёт схемной надёжности с учётом текущего состояния оборудования, моделировать отказы и оценивать ущерб от недоотпуска электроэнергии. Комплекс реализует поддержку принятия решений о выводе оборудования в ремонт путём определения величины риска, выраженного ущербом от нарушения электроснабжения. Представлены функции, структура и область применения разработанного комплекса.

A software package has been developed designed to simulate the technical condition of electrical equipment, calculate reliability and assess the risk of failures. The program allows you to calculate circuit reliability by taking into account the current state of the equipment, simulate failures and assess damage from under-supply of electricity. The complex provides support for decision-making on equipment repair by determining the magnitude of the risk expressed by damage from power outages. The main functions, structure and scope of the developed complex are presented.

Современные электроэнергетические и нефтедобывающие объекты обладают высокой степенью технической сложности, значительными нагрузками, в связи с чем возникает необходимость обеспечения бесперебойности технологических процессов. В этих условиях имеет смысл применять риск-ориентированный подход, который позволяют учитывать фактическое состояние оборудования и выбирать оптимальные решения по его эксплуатации и ремонту. Одним из элементов такого подхода является применение программных средств, способных производить расчеты надежности, моделировать техническое состояние элементов системы электроснабжения и оценивать последствия возможных отказов.

Поддержка принятия решения является частью процесса управления техническим состоянием электрооборудования и технологических объектов.

В разработанном программном комплексе реализованы методы расчета надежности и моделирование мониторинга текущего состояния

оборудования, что обеспечивает повышение качества эксплуатационных решений, а также применение стратегии обслуживания и ремонтов по реальному техническому состоянию системы. Комплекс ориентирован под нефтедобывающую промышленность

Программный комплекс позволяет интегрировать данные мониторинга технического состояния оборудования в расчёты схемной надёжности. Это обеспечивает переход от классического вероятностного подхода к риск-ориентированной оценке, позволяющей учитывать индивидуальные характеристики элементов, их фактический износ и результаты диагностики состояния. В результате формируется более точная оценка текущей и надёжности системы электроснабжения. Программный комплекс условно поделен на несколько блоков, графически блоки представлены на рис.1.



Рис. 1 – Схема функциональных блоков программного комплекса

Первый блок связан с расчетом схемной надежности. Результат расчета представлен значением вероятности безотказной работы рассматриваемой схемы (1). Значение рассчитывается путем сложения эквивалентных элементов [1].

$$P = e^{-\omega T} \quad (1)$$

где ω – параметр потока отказов эквивалентного элемента, 1/год; T – время, в течение которого рассматривается событие, год.

Второй блок связан с моделированием технического состояния оборудования. Результатом моделирования является значение индекса технического состояния (ИТС) оборудования. Показатель является интегральным и отражает комплексное текущее состояние оборудования. Блок работает на разработанной математической модели (2).

$$J_{k.un.eq} = \sum_1^j V_j \times (\sum_1^i (V_i \times O_i)) \quad (2)$$

где V_i – весовой коэффициент значимости детали; O_i – весовой коэффициент (оценка) состояния детали; V_j – весовой коэффициент значимости функционального узла; i – количество деталей в составе функционального узла; j – количество функциональных узлов в составе элемента СЭС.

Третий блок обладает функциональностью для вычисления как параметров надежности, таких как параметр потока отказов, время восстановления, вероятности безотказной работы и вероятность отказа оборудования, так и рассчитывать показатели для разнообразных схемных топологий, учитывая при этом тип соединения элементов и их индекс технического состояния (ИТС), а также ограничения по пропускной способности резервируемых элементов.

Четвертый блок связан с расчетами рисков. Риск нарушения электроснабжения может быть определен как математическое ожидание ущерба от аварийных потерь [2]. Формула (3) позволяет рассчитать риск связанный с нарушением электроснабжения добывающей нефтяной скважиной.

$$M(Y) = P_{\text{нагр}} \times T_{\text{в}} \times D \times Q \times c \quad (3)$$

где c – удельная стоимость потерь, руб/тонн; $P_{\text{нагр}}$ – мощность установки нефтедобычи, кВт; D – производительность установки, т; $T_{\text{в}}$ – время полного восстановления технологического процесса, ч; Q – вероятность отказа схемы электроснабжения.

Пятый блок позволяет произвести поддержку при принятии решения о выводе оборудования в ремонт. При рассмотрении нескольких потребителей, программный комплекс выделяет потребителя, имеющий наибольший риск. В зависимости от критериев, ЛПР получает необходимую информацию при принятии решения. На рис. 2 приведен пример для трех потребителей нефтяного месторождения.

Потребитель ШГ1: 4586521.28
Потребитель ШГ2: 3765987.08
Потребитель ШГ3: 3961274.69

Рис. 2 – Пример отображение потребителя с максимальным риском

Остальные результаты по рассчитываемым потребителям приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов

Потребитель	ω , год ⁻¹	$T_{\text{в}}$, ч	P , о.е.	$\omega_{\text{ИТС}}$, год ⁻¹	$P_{\text{ИТС}}$, о.е.
ШП №113Д	0,008032	1,96	0,992001	0,190454	0,826584
ШП №449	0,008453	1,97	0,991583	0,096101	0,908372
ШП №514	0,002884	2,03	0,997120	0,051398	0,949901

При расчете надежности с учетом мониторинга вероятность безотказной работы СЭС потребителя №1 снижается на 16,47 %, для потребителей №2 и №3 на 4,74 % и на 8,39 % соответственно. Расчет надежности без учета текущего состояния электрооборудования приводит к завышенной оценке. При учете ИТС вероятность безотказной работы снижается. Применение риск-ориентированного подхода предполагает учет текущего состояния электрооборудования и схемной надежности. Для этого необходим мониторинг технического состояния оборудования, позволяющий произвести расчет фактического значения надежности.

Разработанный программный комплекс позволяет формировать список потребителей с наибольшим значением риска, выраженного через математическое ожидание ущерба, что позволяет оптимизировать приоритетность технического обслуживания и повысить надёжность функционирования системы электроснабжения.

Литература:

1. Секретарев Ю. А. Надежность электроснабжения: учебное пособие. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2025. – 148 с.
2. Непомнящий В. А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 188 с.

АВТОКЛАСТЕРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10 КВ

В. К. Гудкова, К. В. Дулина, В. В. Дрыгин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nikagudkova756@gmail.com**

Научный руководитель: Арестова А. Ю., ст. преподаватель

Исследование посвящено применению автокластерного метода и цифрового моделирования для оптимизации распределительных сетей 10 кВ. На реальном кейсе Новосибирского РЭС показано, что переход от точечной модернизации к системному кластерному подходу позволит кардинально улучшить ее эксплуатационные характеристики. Результаты внедрения показывают снижение SAIFI на 81% и SAIDI на 86%.

This study focuses on the application of the auto-clustering method and digital modeling for the optimization of 10 kV distribution networks. Using a real case study from the Novosibirsk Distribution Grid, it is demonstrated that a shift from localized upgrades to a systemic cluster-based reconfiguration leads to a radical improvement

in its operational performance. The implementation results show an 81% reduction in SAIFI and an 86% reduction in SAIDI.

Развитие распределительных сетей напряжением 6-10 кВ приобретает особую значимость в условиях роста нагрузок и технологической модернизации потребителей. На сегодняшний день, модернизация и реконструкция распределительных сетей предполагает замену устаревших проводов на самонесущий изолированный провод (СИП) и установку коммутационного оборудования на отпайках для локализации повреждений. При необходимости подключения нового производства рассчитывается режим подключения к ближайшей точке сети. В случае перегрузки питающей линии предпринимается строительство нового протяженного фидера от ближайшего центра питания. Однако увеличение длины линий приводит к росту числа аварийных отключений, при этом коммутационные аппараты на отпайках не обеспечивают эффективной локализации повреждений на магистрали [1].

Одним из перспективных направлений является так называемое автокластерное решение, отличающееся интегральным подходом к оценке и модернизации сети [2]. В отличие от традиционных методов, предполагающих локальное устранение проблем, автокластерная методология позволяет рассматривать распределительную сеть как целостную систему, с возможностью переосмысления роли существующих активов и их более эффективного использования.

Цель данного исследования - разработка, обоснование и апробация комплексного подхода к модернизации распределительной сети напряжением 6-10 кВ на примере Новосибирского РЭС с применением автокластерного метода для повышения надежности и качества электроснабжения. Объектом исследования выбран участок кабельно-воздушной сети 10 кВ, находящийся в зоне ответственности Новосибирского РЭС. На основании собранных исходных данных была разработана детализированная модель сети в состоянии «AS IS», отражающая ее текущую конфигурацию и параметры. Модель учитывает два центра питания: ПС 220 кВ «Строительная» и ПС 110 кВ «Толмачевская». Для всех выключателей ЦП предусмотрено однократное автоматическое повторное включение (АПВ).

В сети установлено 4 автоматизированных пункта секционирования с АПВ. Инфраструктура включает 123 ТП, из которых 43 являются абонентскими, а также один распределительный пункт (РП). Коммутационные аппараты в распределительных устройствах 10 кВ РП и ТП представлены преимущественно разъединителями или выключателями нагрузки. А также сеть включает в себя 8 фидеров, общая

протяженность которых составляет 100 км воздушных линий и 22,44 км кабельных линий. Общее количество потребителей 2248 шт. Математическая модель сети в ПО Geoproject представлена на рис. 1.

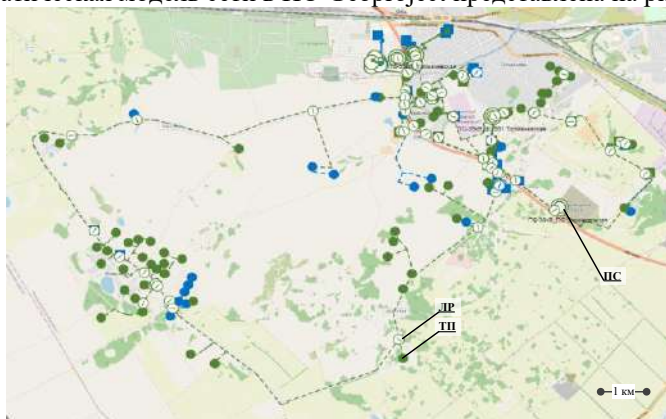


Рис. 1. Модель распределительной сети 10 кВ ПО GeoProject

Анализ режимов работы сети выявил критическое снижение уровня напряжения у потребителей – до 7,92 кВ в нормальном режиме и до 5,56 кВ в послеаварийных ситуациях (N-1), что не соответствует нормативным требованиям. Одновременно с этим была установлена перегрузка ряда линий, достигающая 142% от допустимого значения в нормальном режиме и 193% – в режиме N-1.

Для оценки перспективного развития сети были проанализированы заявки на технологическое присоединение, а также документы территориального планирования, касающиеся развития сетей 10 кВ. А для комплексной оценки надежности и качества электроснабжения пилотной зоны была применена методика, включающая расчет показателей SAIFI, SAIDI, недоотпуска электроэнергии, нагрузочных потерь, минимального напряжения и максимальных токовых загрузок элементов сети.

В процессе модернизации, рассматриваемый участок был разделен на шесть кластеров (рис. 2). Каждый кластер обеспечивает качество и доступность электроснабжения для всех потребителей, как в нормальных, так и в резервных режимах работы. Ниже представлены мероприятия, реализованные в каждом кластере.

1. Кластер №1 включает: ф.425 ПС Строительная, ф.567 ПС Толмачевская. Мероприятия: установка реклоузеров для автоматического секционирования; демонтаж устаревших ЛР;

оптимизация топологии сети для исключения избыточных участков; внедрение двукратного АПВ.

2. Кластер №2 включает: ф.558 ПС Толмачевская, ф.559 ПС Толмачевская. Мероприятия: установка реклоузеров и секционирующих устройств; строительство новых ВЛ 10 кВ с использованием СИП для повышения надежности; устранение протяженных радиальных участков.

3. Кластер №3 включает: ф.557 ПС Толмачевская, ф.1, ф.2 ПС1. Мероприятия: установка реклоузеров и модернизация ячеек подстанций, строительство новых ВЛ 10 кВ (СИП-70 и СИП-95), внедрение телеуправления для автоматических пунктов секционирования.

4. Кластер №4 включает: ф.3 ПС1, ф.5 ПС2. Мероприятия: оптимизация топологии сети для обеспечения резервирования, установка реклоузеров и СРО, замена трансформаторов на более мощные (63 МВА) для устранения перегрузки.

5. Кластер №5 включает: ф.564 ПС Толмачевская, ф.421 ПС Строительная, ф.430 ПС Строительная. Мероприятия: строительство новых ВЛ 10 кВ и модернизация существующих; установка реклоузеров и демонтаж устаревшего оборудования; обеспечение резервирования.

6. Кластер №6 включает: ф.414 ПС Строительная, ф.4 ПС2, ф.6 ПС2. Мероприятия: замена трансформаторов на ПС Строительная (40 МВА → 63 МВА); установка реклоузеров и СРО; оптимизация трассы прокладки ВЛ для снижения потерь.

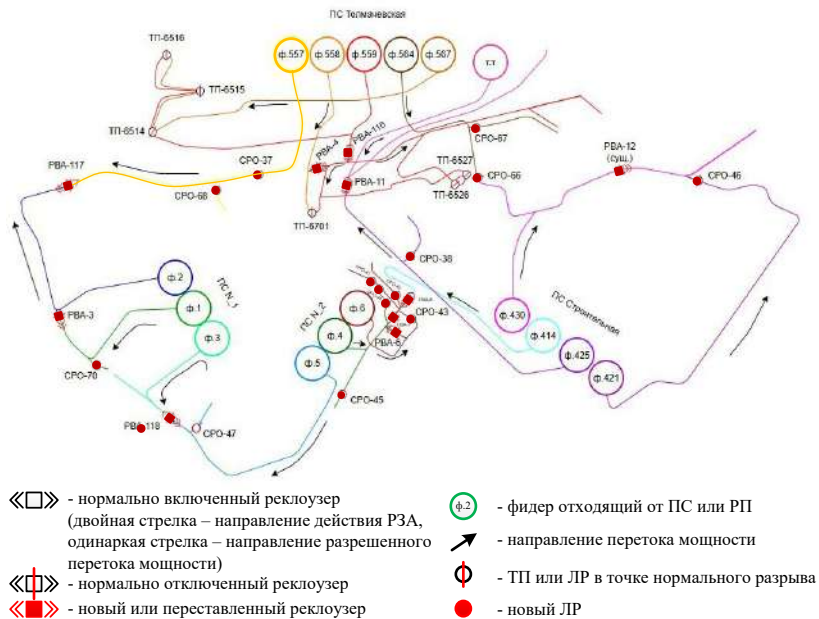


Рис. 2. Упрощенная схема итогового автокластерного решения.

В таблице 1 указаны изменения параметров до и после модернизации сети: средняя частота перерывов электроснабжения, средняя продолжительность перерывов электроснабжения, недоотпуск электроэнергии, нагрузочные потери, минимальный уровень напряжения, максимальная токовая нагрузка элементов сети, % от допустимого значения.

Таблица 1 – Сравнение показателей режима

	SAIFI, откл./год	SAIDI, ч/год	W_{HO} , кВт*ч/год	ΔP , кВт	$U_{мин}$, кВ	$I_{макс\%}$, %
До модернизации	4,37	13,19	130447	808,35	7,92	142
После модернизации	0,85	2,06	24205	212,88	9,80	66

Наиболее важными результатами являются: значительное улучшение показателей надежности (снижение SAIFI на 81% и SAIDI на 86%), сокращение нагрузочных потерь на 75%, уменьшение объема недоотпуска электроэнергии на 81%, увеличение уровня резервирования.

Предложенный подход обладает высоким потенциалом масштабирования на другие регионы страны с учетом их специфических особенностей. Реализация автокластерного метода также создает

технологическую основу для адаптации сети к будущим вызовам, таким как интеграция распределенных источников энергии.

Литература:

1. Казымов И. М., Компанеев Б. С. Разработка алгоритма принятия решений о применении мероприятий по снижению потерь электрической энергии // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – № 8. – С. 102–108.

2. Чалый А. М. Пилотный проект цифрового РЭС в Республике Крым. Новые технологии и основные результаты // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 4 (67). – С. 52–55.

РЕЖИМНАЯ НАДЕЖНОСТЬ РАЙОННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

С. С. Гудыма, Е. М. Насибова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, gudymasofia06@gmail.com**

Научный руководитель: Мышкина Л. С., к.т.н., к.э.н., доцент

Работа посвящена вопросам режимной надежности районных систем электроснабжения. Под режимной надежностью понимается способность сохранять заданные режимы функционирования при изменении условий, отказах элементов и внезапных возмущениях. Приведен пример села в Новосибирской области, где выход режимных параметров за допустимые границы приводит к регулярным отказам в системе электроснабжения.

This paper examines the operational reliability of district power supply systems. Operational reliability is defined as the ability to maintain specified operating modes in the face of changing conditions, component failures, and sudden disturbances. A case study is given of a village in the Novosibirsk region where operational parameters exceeding acceptable limits lead to regular power supply system failures.

Введение. Электроэнергетическая система – это совокупность электрических станций, электрических сетей и электроприемников, связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления [1].

В электроэнергетической системе ключевую роль играет потребитель для кого и происходит производство и передача энергии. Для потребителя важны экономическая доступность и надежность электроснабжения [2]. Поэтому предметом работы является исследование режимной надежности, а объектом – районная система электроснабжения.

Основная часть. Надёжность – свойство объекта или системы сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях. Надёжность является комплексным свойством, которое подразделяется на несколько единичных: бесперебойность, восстанавливаемость, долговечность, управляемость, ремонтпригодность и пр [3]. Известно множество причин, по которым потребители не обеспечены бесперебойным электроснабжением, но в общем они подразделяются на две категории – причины, связанные с балансовой надёжностью и режимной надёжностью.

Балансовая надёжность – свойство энергосистемы обеспечивать спрос на электрическую мощность и энергию энергетическими ресурсами и генерирующими мощностями с учётом запланированных и незапланированных перерывов в работе его элементов и эксплуатационных ограничений. В сферу балансовой надёжности входят дефицит генерирующих мощностей, ограничения пропускной способности системообразующих линий и другое [4,5].

Режимная надёжность – свойство энергосистемы сохранять заданные режимы функционирования при изменении условий, отказах элементов и внезапных возмущениях. В сферу режимной надёжности попадают ситуации, связанные с нарушением режима работы системы при наличии балансовой надёжности. Режим – состояние объекта энергетики или электрической системы, характеризующееся определенными значениями мощностей, токов, напряжений, частоты – параметров режима [1].

В этой работе рассматривается режимная надёжность, так как она, в отличие от балансовой надёжности отражается на потребителях в течение всего года, а не в момент прохождения максимума нагрузок.

На режимную надёжность главным образом влияет схема электрической сети: топология, протяжённость и сечение линий электропередачи, мощность трансформаторов, параметры компенсирующих устройств. С позиций обеспечения частоты в энергосистеме важна маневренность электрических станций. Например, снижение частоты ниже допустимой границ может произойти вследствие нарастания нагрузки со скоростью, превышающей скорость набора нагрузки генерирующим оборудованием.

Непосредственно о режимной надёжности можно судить по количеству выхода режимных параметров из области допустимых значений. В таблице 1 приведены показатели надёжности электроснабжения, значения которых во многом определяются режимной надёжностью районной системы электроснабжения.

Таблица 1 – Показатели надежности электроснабжения

Показатели надежности	Смысл
SAIDI - средняя продолжительность перерывов в электроснабжении одного потребителя за определённый период.	Отношение общей длительности отключений потребителей сети к общему количеству подключенных потребителей.
SAIFI - среднее число перерывов в электроснабжении одного потребителя за указанный период.	Отношение общего числа долговременных (более 1 мин.) отключений электроснабжения к общему количеству обслуживаемых потребителей.
Средняя продолжительность прекращения передачи электрической энергии.	Отношение суммарной продолжительности отключений электроснабжения к числу потребителей

Значения *SAIDI* и *SAIFI* показывают сколько раз и как долго потребитель не получает электроэнергию. Нередко причиной прерывания электроснабжения является выход значений режимных параметров за допустимые границы. Например, при недопустимых токовых нагрузках релейная защита отключает воздушную линию. Однако часто причиной прерываний являются факторы не имеющие отношения к режимной надежности. Например, обрыв провода воздушной линии из-за падения дерева, межвитковое короткое замыкание в трансформаторе и многое другое.

Кроме приведенных в таблице в зарубежных исследованиях встречаются и другие показатели: *CAIDI*, *ASAI*, *ACIDI*, *AENS*, *MAIFI*, *ENS*. Но в отечественных системообразующих территориальных сетевых организациях принято использовать два показателя, значения которых для ПАО «Россети» в Новосибирске приведены на рис. 1. Чем меньше *SAIDI* и *SAIFI*, тем лучше обеспечивается надежность электроснабжения, а значит и косвенно режимная надёжность. Из графиков можно увидеть, что значение показателей постоянно меняется. Отсутствие стабильности говорит о том, что режимная надёжность непостоянна из года в год, а средства поддержания её на необходимом уровне либо отсутствуют, либо не применяются в полной мере.

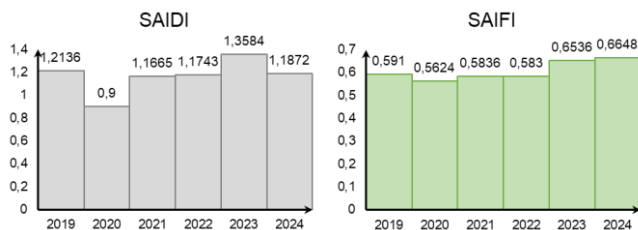


Рис. 1 – Усредненные показатели надежности системы электроснабжения Новосибирской области

Особенно остро проблема низкой надежности электроснабжения и низкой режимной надежности проявляется у сельских потребителей. Это происходит из-за отдалённости, и в некоторых случаях труднодоступности аварийных участков; недостаточного количества бригад и технических средств для выявления и устранения аварии; низкого уровня контроля технического состояния оборудования; высокого износа, а иногда и полного устаревая оборудования. Все эти факторы приводят к нарушению бесперебойной поставки электроэнергии к жителям сельской местности, иногда люди остаются без «света» больше суток.

Рассмотрим последствия низкого уровня режимной надёжности на примере села в Новосибирской области. Большую часть времени жителей сельской местности занимает натуральное хозяйство, многие выращивают птицу. В сезон работы инкубаторов – весной, происходят частые аварийные отключения из-за грозových перенапряжений и технического обслуживания и ремонтов. Каждую весну хозяйки живут в страхе, что останутся без птенцов и вынуждены придумывать резервные способы обогрева: одеялами и бутылками с горячей водой. Кроме того, из-за низкой бесперебойности электроснабжения многие жители используют не электрические плиты, а плиты на газовых баллонах, так как село не газифицировано. Для школы, садика, больницы никаких резервных источников питания не предусмотрено, поэтому во время отключений, они не функционируют. При долгих отключениях прекращает работать сотовая связь.

Недавно возникла новая проблема. Многие жители установили электрические отопительные котлы, что в начале отопительного сезона привело к возникновению нерасчётных токовых нагрузок, что привело к отключению целых улиц в холодное время года. Приведенный пример иллюстрирует низкий уровень режимной надежности в селе. Стоит отметить, что сетевая компания реагирует на эти случаи, и в следующем

году будет проведена замена опор и СИП. Также в прошлом году произвели замену одной КТП.

Заключение. Значения показателей надежности электроснабжения в регионе не стабильны и меняется из года в год. Особенно на усреднённые показатели влияет ситуация в отдалённых населённых пунктах, где отключения электроснабжения – частое явление. Сложность в обеспечении высокого уровня надёжности связана, как с техническими и организационными трудностями, так и с низкой плотностью населения. В некоторых деревнях живёт менее 100 чел., но при этом электроэнергия туда поставляется. Затраты системообразующих территориальных сетевых организаций на обслуживание и замену оборудования не окупаются, что очевидно приводит к сокращению выделяемого на это бюджета.

В работе также выявлено, что значения показателей *SAIDI* и *SAIFI* во многом зависят от режимной надежности районной системы электроснабжения. Оценка степени влияния режимной надежности на показатели *SAIDI* и *SAIFI* является предметом дальнейших исследований.

Литература:

1. Папков Б. В., Илюшин П. В., Куликов А. Л. Краткий словарь современной электроэнергетики. – 2021.
2. Бык Ф. Л., Иванова Е. М., Илюшин П. В., Мышкина Л. С. Повышение эффективности энергетической инфраструктуры малых и средних городов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2024. – Т. 67, № 4. – С. 107-119. – doi 10.17213/0136-3360-2024-4-107-119.
3. Китушин В. Г. Надежность энергетических систем. – НГТУ, 2003.
4. Чукреев Ю. Я., Чукреев М. Ю. Задача обеспечения балансовой надежности при управлении развитием ЭЭС: состояние, проблемы, пути решения // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – 2016. – С. 9-18.
5. Надежность систем энергетики (Сборник рекомендуемых терминов) / Отв. ред. Н. И. Воропай. М.: ИАЦ «Энергия», 2007. 192 с.

ГИБКОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

К. В. Дулина, Е. М. Насибова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kseniadulina821@gmail.com

Научный руководитель: Мышкина Л.С., к.т.н., к.э.н., доцент

Современная электроэнергетика сталкивается с ростом пиковых нагрузок, снижением надежности и экономической доступности электроснабжения, увеличением доли возобновляемых источников энергии, децентрализацией генерации. Выявлено, что зарубежом в ответ на вызовы занимаются формированием гибкости энергосистем и внедряют соответствующие комплексные решения. Однако, в России сложилась практика точечного внедрения технологий, что не позволяет повысить эффективность всей системы.

The modern electric power industry is facing increasing peak loads, declining reliability and affordability of electricity supply, an increasing share of renewable energy sources, and decentralized generation. It has been found that, in response to these challenges, foreign countries are working to build energy system flexibility and implement appropriate integrated solutions. However, in Russia, the practice has been to selectively implement technologies, which does not improve the efficiency of the entire system.

Введение. Современная электроэнергетика находится на этапе энергетического перехода, который сопровождается возникновением новых вызовов: изменчивость и неопределенность режимов, выход напряжения за допустимые пределы, дисбалансы между фидерами и многое другое [1, 2]. Отечественная электроэнергетика, сталкивается с этими вызовами на фоне внутренних проблем: высокой степени износа оборудования, наличия протяженных и слабо закольцованных распределительных сетей, высоких потерь электроэнергии и растущей стоимости электроэнергии для конечных потребителей.

В этих условиях важным свойством, обеспечивающим надежное и экономичное функционирование энергосистемы, становится гибкость – способность эффективно поглощать колебания генерации и нагрузки. Ресурсы гибкости (РГ) крайне неоднородны и распределены по всем уровням напряжения: от маневренных электростанций и межсистемных связей на высшем напряжении до устройств силовой электроники, систем накопления энергии и активных потребителей – на среднем и низком напряжении. При этом в мире внедряются различные технологии и их комбинации, а в России в основном, точечные технические решения,

такие как реклоузеры для секционирования фидеров, что является необходимым, но недостаточным шагом.

Целью работы является проведение сравнительного анализа ресурсов гибкости, применяемых в сетях различного класса напряжения, и выявление различий между отечественными и зарубежными сетями. **Актуальность** работы обусловлена необходимостью определения стратегических ориентиров для модернизации российской электроэнергетики, которая сегодня стоит перед выбором: продолжать работать с тем, что есть или перейти к системной трансформации с упором на интеллектуальные технологии и рыночные механизмы управления.

Ресурсы гибкости электрической сети: информационно-аналитическая часть

Под гибкостью понимается способность энергосистемы оперативно реагировать на изменения режимов работы – как прогнозируемые, так и внезапные, поддерживая при этом надежное и экономически эффективное электроснабжение потребителей [3, 4]. Необходимость в гибкости обусловлена следующими факторами:

Изменчивость ВИЭ.

Мощность ветровых и солнечных электростанций непредсказуемо меняется в секундном, часовом и сезонном разрезах, требуя быстрого реагирования от управляемых ресурсов [2].

Рост пиковых нагрузок и новые виды электроприемников.

Электромобили и тепловые насосы создают новые, зачастую синхронизированные, пики нагрузки, приводя к перегрузке сетевого оборудования [4].

Формирование гибкости является не опцией, а обязательным условием для эффективного функционирования современных энергосистем. При этом важно отметить, что наиболее проблемными с позиции дефицита гибкости и одновременно - наиболее перспективными для внедрения инноваций являются распределительные сети 6-35 кВ. Потому, что многие вызовы, такие как перегрузка фидеров или отклонения напряжения, носят локальный характер и требуют адресных решений непосредственно в распределительных сетях [3, 5].

Сравнительный анализ

Для сравнения отечественного и зарубежного опыта формирования свойства гибкости энергосистем в работе предложено пять критериев.

1. Архитектура

Отечественная энергосистема. Централизованная, иерархическая, фокус на надежности и крупной генерации.

Передовые зарубежные энергосистемы. Децентрализованная, фокус на распределенной генерации и активных сетях и потребителях.

2. Драйверы развития

Отечественная энергосистема. Реакция на проблемы (износ сетей, рост тарифов), политика импортозамещения.

Передовые зарубежные энергосистемы. Политика декарбонизации, либерализация рынков, стимулирование ВИЭ и инноваций.

3. Гибкость в распределительных сетях

Отечественная энергосистема. Преобладают радиальные схемы, «ручное» управление. Внедряются точечные решения (реклоузеры).

Передовые зарубежные энергосистемы. Высокая гибкость, активное внедрение Smart Grid и других решений.

4. Нормативная база

Отечественная энергосистема. Консервативная, отсутствует поощрение инноваций и распределенной генерации, существуют противоречия с крупными игроками.

Передовые зарубежные энергосистемы. Стимулирующая, директивы, например, Clean Energy Package обязывают заниматься вопросами гибкости.

5. Технологии

Отечественная энергосистема. Внедряются реклоузеры.

Передовые зарубежные энергосистемы. Внедряются комплексные решения: DNR (динамическое переконфигурирование сетей), LFM (локальные рынки гибкости) и SOP (гибкие точки питания). Активное использование цифровых платформ и агрегаторов.

6. Экономика

Отечественная энергосистема. Высокая стоимость электроэнергии, перекрестное субсидирование, уход промышленности на собственную генерацию, отсутствие рынков гибкости.

Передовые зарубежные энергосистемы. Гибкие тарифы, рынки гибкости, новые бизнес-модели для агрегаторов и просьюмеров.

Проведенный анализ позволил выявить различия в подходах к управлению развитием энергосистем. Российская электроэнергетика, характеризуется реактивным подходом, при котором модернизация (например, точечная установка реклоузеров для сокращения времени восстановления питания [5]) направлена на решение уже возникших острых проблем. Это приводит к системному дефициту гибкости и низкой эффективности распределительного сетевого комплекса.

В ЕС и США – проактивный подход к управлению развитием электроэнергетики, ориентированный на создание инфраструктуры для будущих вызовов, таких как рост доли ВИЭ и появление новых

потребителей, например электромобилей. Это делает энергосистемы более гибкими и инновационными. Однако данный подход порождает иные сложности: высокую стоимость, проблемы управления и новые технические риски.

Для преодоления системного дефицита гибкости необходима комплексная трансформация, включающая три ключевых направления:

1. Организационно-экономические реформы

Создание нормативной базы для локальных рынков гибкости, позволяющих закупать услуги у распределённых ресурсов. Реформа тарифообразования, стимулирующая инвестиции в гибкость, а не только в сетевое строительство и новую крупную генерацию.

2. Технологическая модернизация

Внедрение устройств силовой электроники для комплексного управления сетями. Массовая цифровизация и автоматизация среднего напряжения для перехода от точечных решений к системной автоматизации.

3. Архитектурные изменения

Развитие территориальных энергосистем (ТЭЭС) на основе малой генерации для локализации дисбалансов. Интеграция распределённой генерации как ресурса гибкости, а не угрозы системной надёжности.

Заключение. Проведенное исследование позволило провести анализ ресурсов гибкости в электрических сетях различного класса напряжения и выявить различия между отечественной и зарубежными энергосистемами.

Гибкость стала критическим свойством современной электроэнергетики в условиях энергоперехода. Российская энергосистема, обладая надёжностью на уровне магистральных сетей, сталкивается со стратегическим вызовом – негибкостью распределительного уровня. Ключевые различия с передовыми зарубежными системами носят архитектурный, управленческий и нормативный характер.

Для успешной адаптации к глобальным трендам необходим переход от точечной модернизации к целенаправленному формированию гибкой, интеллектуальной и децентрализованной сети. Успех этой трансформации зависит от преодоления системных барьеров и создания целостной экосистемы, объединяющей технологии, экономику и регулирование.

Переход к гибким системам целесообразно начинать с распределительного сетевого комплекса как наиболее приближенного к потребителю элемента энергосистемы.

Литература:

1. Mararakanye N., Bekker B. Renewable and Sustainable Energy Reviews 108 (2019) 441–451. – Renewable energy integration impacts within the context of generator type, penetration level and grid characteristics.
2. Бык Ф. Л., Мышкина Л.С. Гибкие объекты энергетики и гибкость процессов в энергосистеме // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики : материалы 97 заседания междунар. науч. семинара им. Ю. Н. Руденко, Новосибирск, 6–12 июля 2025. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2025. – Вып. 76. Обеспечение надежности систем энергетики в условиях инновационного развития. – С. 77–86
3. Valarezo O., Chaves-Avila J.P., Gómez T. Exploring the Interaction Between Electricity Distribution Network Reconfiguration and Local Flexibility Markets // Current Sustainable/Renewable Energy Reports. – 2023. – Vol. 10. – P. 170–182.
4. Chen S., Lin P., Ye H., Zhu M., Gong X., Dong X. A Semi-DC Substation in Urban Distribution System: System Design and Inter-feeder Power Translation // Доклад, Shanghai Jiao Tong University. – 2025.
5. Никишин А.Ю., Беклемешев И.С. Применение реклоузеров в сетях ОАО «Янтарьэнерго» для решения проблем в распределительных сетях среднего напряжения // Известия КГТУ. – 2017. – № 44. – С. 203–210.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ГЭС НА ОСНОВЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

П. В. Дурновцева, А. А. Кабиров, Ю. О. Щапова
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, polina-durnovtseva@mail.ru
Научный руководитель: Мятёж Т. В., к.т.н., доцент

В статье рассмотрена задача оптимизации режимов работы ГЭС в составе водохозяйственного комплекса с множеством участников. Предлагается синергетическая модель управления, учитывающая взаимное влияние элементов системы. В качестве основного инструмента применяется метод предельной полезности, позволяющий определять оптимальную выработку электроэнергии, тарифы и сбалансированные режимы работы. Модель объединяет технологические, экономические и экологические критерии и может использоваться для оперативного и стратегического управления ГЭС.

The article addresses the optimization of hydroelectric power plant operation within a water management complex with diverse and often conflicting interests. A synergistic management model is proposed, reflecting the mutual influence of system participants. The marginal utility method is used as the key tool, enabling determination

of optimal power generation, water tariffs, and balanced operation modes. The model integrates technological, economic, and environmental criteria and is suitable for both operational and strategic management of hydroelectric power plants.

Введение Современные водохозяйственные комплексы объединяют множество отраслей с разными и часто противоречивыми требованиями к использованию водных ресурсов. Поэтому управление режимами ГЭС, которая одновременно вырабатывает электроэнергию и регулирует сток, становится сложной многокритериальной задачей. Для анализа интересов участников ВХК и поиска компромиссов применяются матрица интересов, методы многокритериальной оптимизации и построение Парето-оптимального множества. В статье предложена модель управления ГЭС, основанная на синергетическом подходе и эффекте эмерджентности. В основу расчётов положен метод предельной полезности ($MR = MC$), позволяющий определять оптимальные водные тарифы и режимы работы станции [2-3].

Оптимизация режимов работы водохозяйственного комплекса с учетом экологического критерия. При оптимизации работы ГЭС в составе водохозяйственного комплекса нужно учитывать интересы разных отраслей, которые часто расходятся, поэтому задача получается многокритериальной. Синергетический подход позволяет рассматривать ВХК как единую систему, где изменение режима одного объекта влияет на остальные.

Режимы работы ГЭС должны учитывать три основных критерия: надёжность, экономическую эффективность и экологическую устойчивость. На этой основе создана синергетическая модель управления, показывающая взаимосвязи участников и позволяющая искать согласованные решения [5].

Оптимизацию проводят только для месяцев, где обнаружены противоречия. Анализ выполняют с помощью матрицы противоречий и построения множества Парето, учитывая водность года и уровни бьефов. Экономический критерий связан с максимизацией прибыли, экологический – с затратами на компенсацию ущерба. После определения весовых коэффициентов для каждого сценария формируется Парето-оптимальное множество.

Методология. В исследовании применён метод предельной полезности, объединённый с комплексным показателем эффективности ГЭС, включающим технологическую надёжность, социально-экономические и экологические аспекты. На этой базе разработаны математическая и интерактивная модели, позволяющие оптимизировать режимы работы станции в составе водохозяйственного комплекса [4].

Для НГЭС метод предельной полезности рассматривается через критерий максимизации прибыли: оптимальный объём выработки определяется условием $MR = MC$ (рис. 1). В точке Q^* прибыль максимальна; при Q_1 мощность используется не полностью, а при Q_2 появляются лишние затраты.

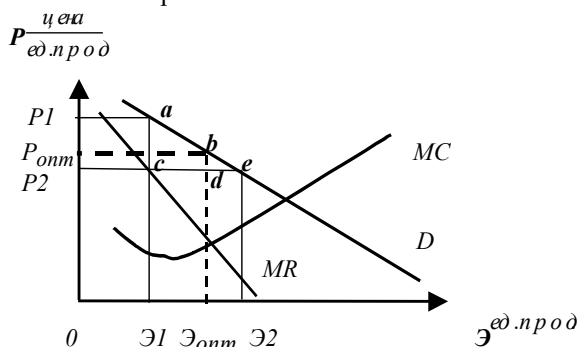


Рис. 1 – Определение оптимального объема выпуска продукции

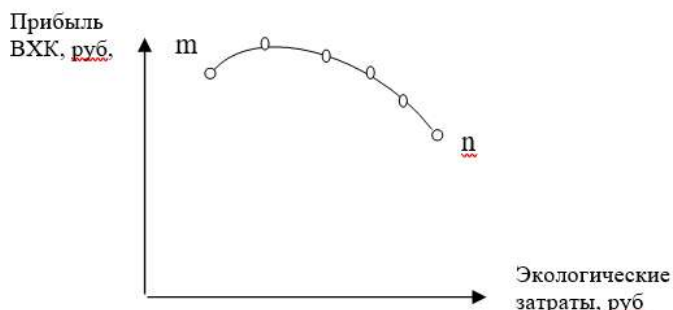


Рис. 2 – Построение кривой Парето-эффективных решений для управления режимами функционирования ВХК.

Стоимость воды также рассчитывается по принципу предельной полезности, с учётом расхода воды на генерацию и топливных затрат разных типов судов. Для расчётов используются дифференциальные зависимости (1).

$$U_b = c_b \cdot b, \quad U_q = c_{\text{воды}} \cdot q, \quad (1)$$

где b и q – относительные приросты расхода топлива и воды соответственно, c_b – цена топлива, руб/т.у.т., $c_{\text{воды}}$ – стоимость

гидроресурса, руб/м³, U_b – предельные издержки по топливу, U_q – предельные издержки по воде [3].

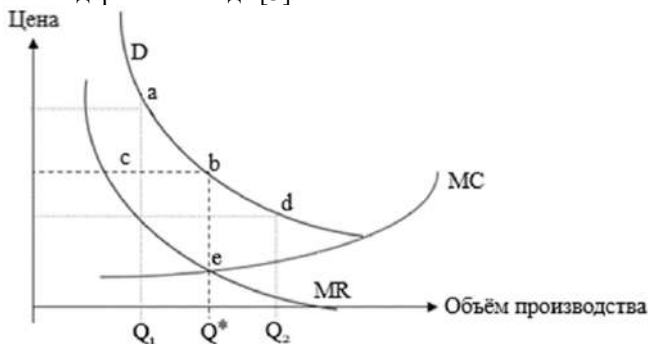


Рис. 3 – График максимизации прибыли производимой электроэнергии.
Цена воды рассчитывается по формуле (2):

$$c_{\text{воды}} = tg\alpha \cdot \frac{U_b}{c_b}, \quad (2)$$

где α – угол, показывающий энергетическую ценность гидроресурса для достижения оптимального значения целевой функции.

Оптимальная месячная выработка (3):

$$N_{\text{опт}} = \mathcal{E}_{\text{опт}}/t_{\text{мес}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{опт}}$ – оптимальное значение вырабатываемой мощности, $\mathcal{E}_{\text{опт}}$ – оптимальное значение производимой электроэнергии, $t_{\text{мес}}=720$ часов.

Уравнение оптимизации (4):

$$MC = MR = c_{\text{воды}} \cdot q, \quad (4)$$

где MC – предельные издержки, MR – предельный доход.

Предлагаемая методика позволяет:

1. Определить тарифную стоимость воды.
2. Рассчитать оптимальные режимы выработки.
3. Обосновать цены на электроэнергию.

В отличие от метода Лагранжа, данный подход позволяет обойтись без последовательных итераций и точнее учитывать реальную ценность водных ресурсов в условиях интегрированной энергосистемы.

Результаты применения модели показали, что включение экологических ограничений существенно меняет режим работы ГЭС: объём оптимальной генерации уменьшается, поскольку часть водных ресурсов приходится перераспределять на выполнение

природоохранных норм. Одновременно возрастает стоимость электроэнергии, что связано с дополнительными расходами, возникающими при учёте экологического воздействия.

Заключение. Исследование показало, что эффективное управление режимами ГЭС в составе водохозяйственного комплекса требует одновременно учитывать экологические, технологические и экономические факторы, что делает задачу многокритериальной. Синергетический подход позволяет рассматривать ВХК как единую систему, выявлять противоречия между участниками и определять наиболее рациональное распределение водных ресурсов.

Метод предельной полезности даёт возможность оценить потенциальную выработку энергии и формировать удобные тарифные решения без сложных расчётов, что повышает практическую ценность модели.

Проверка модели в разных условиях водности подтвердила её надёжность: она подходит как для стратегического планирования, так и для оперативного управления, улучшая эффективность работы комплекса и снижая уровень конфликтности между его участниками.

Литература:

1. Гидроэнергетика / Т.А. Филиппова, М.Ш. Мисриханов, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина – 3-е изд., перераб. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 620 с. (Серия «Учебники НГТУ»).
2. Оптимизация режимов энергетических систем / В.М. Синьков, А.В. Богословский, Я.А. Калиновский, Э.А. Мозговая, А.А. Огородников – под редакцией проф. В.М. Синькова, Киев: Изд-во «Вища школа» - 1973. – 278 с.
3. Методы оптимизации режимов энергосистем / В.М. Горнштейн, Б.П. Мирошниченко, А.В. Пономарев и др.; под ред. В.М. Горнштейна – М. Энергия, 1981. – 336 с.
4. Мятёж Т. В., Хворостов В. А., Секретарев Ю. А. Модель оптимизации режимов работы водохозяйственного комплекса на основе синергетического подхода
5. Мятёж Т. В., Секретарев Ю. А., Сурков П. Е. Модель оптимального управления режимами водохозяйственного комплекса на основе синергетического подхода
6. Клер А. М., Корнеева З. Р., Елсуков П. Ю. Оптимизация режимов работы энергосистем, включающих ТЭЦ и ГЭС, с водохранилищами многолетнего регулирования // Известия РАН. Энергетика. №2. 2011. С.92-106.

РАСПОЗНАВАНИЕ ОПАСНЫХ ДЕФЕКТОВ В СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ С УЧЕТОМ ВАЖНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Д. В. Заремба, А. А. Зеленских

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zarembadanil3@gmail.com

Научный руководитель: Левин В. М., д.т.н., доцент

В статье показано влияние нагрузки, как важного эксплуатационного фактора, на физические характеристики и работу силового трансформатора. Улучшены адаптивные свойства Байесовского решающего правила. Выявлена корреляционная зависимость обобщенного признака и коэффициента загрузки.

The article shows the influence of load, as an important operational factor, on the physical characteristics and power transformer operation. The adaptive properties of the Bayesian decision rule have been improved. The correlation dependence of the generalized feature and the load factor is revealed.

Введение. Силовой трансформатор (СТ) является связующим звеном в процессе преобразования, передачи и распределения электрической энергии. В процессе эксплуатации любого энергетического оборудования меняется его техническое состояние, и СТ не является исключением. Потеря ресурса электрооборудования обусловлена рядом причин, которые можно разделить на две основные категории. Первую группу составляют внутренние причины, включающие конструктивные решения на уровне «железа», особенности его схемных решений и рабочих режимов, определяемых условиями эксплуатации. Ко второй категории относятся внешние воздействия случайного характера, напрямую влияющие на состояние объекта. Наиболее распространенными являются термические, механические нагрузки, химические реакции под воздействием агрессивных сред, приводящие к аномальной работе СТ [1]. Коэффициент загрузки СТ ($K_{\text{загр}}$) является важным эксплуатационным фактором, отражающим работу трансформатора в различных режимах, развитие тепловых процессов в функциональных узлах (ФУ) и, как следствие, скорость старения изоляционных материалов. Анализ растворенных газов (АРГ) представляет наиболее информативный вид упреждающей диагностики маслонаполненного трансформаторного оборудования. Данный метод основывается на измерении основных семи растворенных газов в масле СТ: водорода (H_2), метана (CH_4), ацетилена (C_2H_2), этилена (C_2H_4), этана (C_2H_6), оксида (CO) и диоксида углерода (CO_2). Очевидно, что между коэффициентом загрузки и методом АРГ существует корреляционная зависимость, поскольку увеличение нагрузки приводит к закономерному

росту температуры конструктивных элементов и ФУ СТ, а также к повышению концентраций характерных газов в масле. В этой связи, **целью работы** является формирование единого критерия для достоверного распознавания дефектов в силовых маслонаполненных трансформаторах по результатам АРГ с учетом изменения электрической нагрузки. **Задачи**, необходимые для достижения поставленной цели, включают описание методики проектирования Байесовского решающего правила для распознавания дефектов в СТ по АРГ и выявление корреляционной зависимости между границей принятия решения и коэффициентом загрузки.

Байесовское решающее правило. Формирование математических моделей продемонстрировано на реальных трансформаторах, находящихся в эксплуатации района электрической сети 110 кВ «Тюменьэнерго». Входным параметром модели является ретроспектива результатов АРГ длительностью 5 лет, содержащая $m = 329$ протоколов. Размерность выборки составляет $m \times n = 329 \times 7$, где n – число газов. Эффективным приемом снижения размерности исходного пространства контролируемых параметров является применение дискриминантной (весовой) функции вида:

$$\Phi(A) = \Phi_0 + a_1 \cdot w_1 + \dots + a_i \cdot w_i + \dots + a_n \cdot w_n = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n=7} a_i} \cdot \sum_{i=1}^{n=7} a_i^2, \quad (1)$$

где: Φ_0 – начальное значение функции $\Phi(A)$; a_i – относительная концентрация i -го газа, полученная путем деления абсолютной концентрации A_i , [%об., ppm] на установленное нормативным документом граничное значение $A_{\text{гpi}}$ [2]; w_i – весовой коэффициент, отражающий долю участия i -го газа в общей выборке протоколов АРГ. Дифференциальная дихотомия двух классов состояний Π_1 , Π_2 реализуется на основе исходной выборки A и критерия «граничных концентраций»: если $a_i \leq 1$, состояние трансформатора относится к классу Π_1 – «норма», а при $a_i > 1$ к классу Π_2 – «отклонение от нормы».

Байесовский классификатор, априори обеспечивающий минимально возможную ошибку распознавания дефекта, имеет вид [3, 4]:

$$H(\Phi) = -\ln p(\Phi / \Pi_1) + \ln p(\Phi / \Pi_2) - \ln \frac{P(\Pi_1)}{P(\Pi_2)}, \quad (2)$$

где: $p(\Phi / \Pi_j)$ – плотности вероятностей случайного признака Φ в j -ом классе состояния; $P(\Pi_j)$ – априорная вероятность принадлежности

состояния СТ к j -му классу; $\lambda = \frac{P(\Pi_1)}{P(\Pi_2)}$ – пороговое значение

отношения правдоподобия. Вычисление $\Phi_{\text{гр}}$ сводится к преобразованию выражения (2) и нахождению корней квадратного уравнения. Однако, применимо приближенное описание границы раздела между двумя классами состояний Π_1, Π_2 :

$$\Phi_{\text{гр}} \approx \tilde{M}_1 + k \cdot \tilde{\sigma}_1, \quad (3)$$

где: $\tilde{M}_1$, $\tilde{\sigma}_1$ – математическое ожидание и стандартное отклонение случайной величины Φ в классе состояния Π_1 ; $k \in [2; 3]$ – вычислительная константа, подбираемая эмпирически из условия минимальной суммарной ошибки распознавания.

Корреляционная зависимость. Улучшение адаптивных свойств Байесовской модели классификации состояний достижимо с выявлением корреляционной связи между граничным значением признака Φ и коэффициентом загрузки СТ. Для построения зависимости на примере группы контролируемых трансформаторов, используется выборка случайной величины Φ в классе состояний Π_1 , и соответствующий ей вектор-столбец $\mathbf{K} = \{K_{\text{загр}}\}_{m_1 \times 1}$ размерностью $m_1 \times 1$, где $m_1 = 272$ – количество протоколов в классе Π_1 . Далее, вычисляется коэффициент парной корреляции:

$$r_{\Phi, K_{\text{загр}}} = \frac{\sum_{i=1}^{m_1} [(\Phi_i - \tilde{M}_{\Phi}) \cdot (K_{\text{загр}i} - \tilde{M}_{K_{\text{загр}}})]}{\tilde{\sigma}_{\Phi} \cdot \tilde{\sigma}_{K_{\text{загр}}}} = 0,72, \quad (4)$$

где: $\tilde{M}_{\Phi}$, $\tilde{\sigma}_{\Phi}$, $\tilde{M}_{K_{\text{загр}}}$, $\tilde{\sigma}_{K_{\text{загр}}}$ – математические ожидания и стандартные отклонения соответствующих случайных величин. Значение $r_{\Phi, K_{\text{загр}}} \geq 0,7$ характеризует достаточно высокую связь между переменными. Это подчеркивает необходимость формирования корреляционной функции вида $\Phi_i = f(K_{\text{загр}i})$ (рис. 1), и ее полиномиальной аппроксимации:

$$\Phi_{\text{гр}} = A \cdot \exp(B \cdot K_{\text{загр}}), \quad (5)$$

где A и B – произвольные коэффициенты аппроксимации.

Полученная на рисунке 1 экспонента позволяет судить о тенденции изменения граничного значения $\Phi_{\text{гр}}$ в зависимости от важного эксплуатационного фактора загрузки СТ. Увеличение коэффициента загрузки способствует увеличению $\Phi_{\text{гр}}$. Анализируя рисунок, нетрудно

заметить, что распределения случайной величины Φ для классов состояний Π_1 и Π_2 пересекаются в меньшей степени, нежели при $\Phi_{гр} = \text{const}$. Это приводит к уменьшению суммарной ошибки диагностирования.

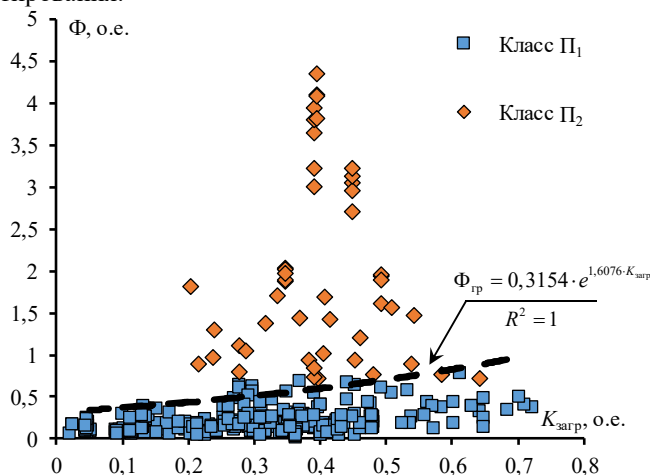


Рис. 1 – Корреляционная функция $\Phi_i = f(K_{загр,i})$

Заключение. Изменение нагрузки является одним из главных факторов, влияющих на показатели метода АРГ, не учет которой снижает достоверность идентификации классов состояний. Использование коэффициента загрузки СТ улучшило адаптивные свойства модели классификации дефектов. В результате, эффектом от модернизации Байесовского решающего правила является уменьшение суммарной ошибки распознавания.

Литература:

1. Применение методов искусственного интеллекта в задачах технической диагностики текущего состояния электрооборудования электрических систем: монография [Текст] / В.З. Манусов, В.М. Левин, А.И. Хальясмаа, Дж. С. Ахъёев; под общ. ред. В.З. Манусова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 446 с. – (Монографии НГТУ).
2. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле: РД 153-34.0-46.302-00: утв. Департаментом научно-технической политики и развития РАО ЕЭС

«России» 12.12.2000.: ввод. в действие с 01.01.2001. – М.: НЦ ЭНАС, 2001.

3. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов [Текст] / К. Фукунага. – Москва: Наука, 1979. – 368 с.

4. Yahya A. A. Support for decision-making to ensure reliable operation of transformers as part of a responsible power facility / A. A. Yahya, V. M. Levin. – Текст: электронный // International multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FarEastCon): [proc.], Vladivostok, 6–9 Oct. 2020. – Vladivostok: IEEE, 2020. – 6 p. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9271626>. – Title from screen – DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271626.

ЦИФРОВОЙ ИНЖИНИРИНГ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ

Е. С.Кудеева, С. Ю.Казакова, Д. В.Лазарев
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kazakovasofa20@gmail.com
Научный руководитель: А. Г.Русина, д.т.н., доцент

В условиях глобальной цифровой трансформации промышленность переживает переход от традиционных методов к технологиям цифрового инжиниринга. Согласно указу «О национальных целях развития РФ на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» государство задает тренд на развитие цифровой трансформации секторов экономики. Отечественная экономика глубоко завязана на углеводородной промышленности, поэтому необходимо освоение трудноизвлекаемых запасов и совершенствование технологий добычи.

In the context of global digital transformation, the industry is undergoing a transition from traditional methods to digital engineering technologies. According to the decree "On the National Development Goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036," the state sets the trend for the development of digital transformation of economic sectors. The domestic economy is deeply tied to the hydrocarbon industry, so it is necessary to develop hard-to-recover reserves and improve production technologies.

В рамках исследования рассматривается применение технологий цифрового инжиниринга в нефтедобывающих компаниях с акцентом на их влияние на проектирование и развитие систем электроснабжения, включая оценку нагрузок, оптимизацию схем электросети и повышение надёжности электроснабжения объектов добычи.

Под цифровым инжинирингом понимается применение передовых технологий на всем жизненном цикле продукта, включая этап

концептуального планирования, проектирования и производства продуктов, а также мониторинга [1, 2].

Согласно отчету компании BrilaSoft цифровая трансформация в нефтегазовом секторе открывает значительные возможности для повышения эффективности производственных процессов. Внедрение цифровых решений позволяет снизить эксплуатационные расходы на 12–20%, сократить количество незапланированных остановок оборудования на 15–25%, повысить эффективность работы нефтеперерабатывающих заводов на 8–12%. Кроме того, цифровизация способствует улучшению показателей в области охраны труда, промышленной безопасности, защиты окружающей среды и повышению производительности персонала [2].

В процессе реализации цифрового инжиниринга в нефтегазовой отрасли решается ряд задач [3]:

1. Создание отечественных программных продуктов;
2. Моделирование динамики многофазных нелинейных систем;
3. Иерархия полномерных и прокси моделей
4. Интеллектуальные мультиагентные системы.

Распространенной практикой является создание “умных” месторождений. Этот подход основан на применении интеллектуальных датчиков и автоматизированных систем, обеспечивающих передачу данных с месторождения в режиме реального времени в удалённый аналитический центр, где они оперативно обрабатываются для принятия управленческих решений. Реализация такой программы позволяет увеличить добычу нефти на 2-7% и снизить расходы на эксплуатацию 5-20%. «Интеллектуальные» нефтяные месторождения обеспечивают функции доступа и обмена данными в реальном времени, анализа и прогнозирования процессов для оптимизации, операционную интеграцию и автоматическое управление технологическими системами [4].

На нефтедобывающих предприятиях активно применяются технологии цифровых двойников. Примером является интегратор цифровых двойников, в котором производится расчет перспективных нагрузок месторождения. Разработка начинается с получения информации об объемах залежей из геологоразведочных работ на объекте. Затем определяется возможный объем добычи и ковер бурения. На основе этих сведений формируются профили мощностей в ключевых узлах, а также требования к электропитанию скважин и добывающего оборудования.

Цифровые двойники позволяют не только моделировать технологические процессы добычи, но и выполнять расчёт режимов

систем электроснабжения месторождений. На основании геолого-технических данных формируются прогнозные графики электрических нагрузок для насосного оборудования, систем поддержания пластового давления, блочных кустовых насосных станций и других электроприемников.

Подобные системы объединяют данные из множества источников, обеспечивая всесторонний анализ и прогнозирование нагрузки на скважины. Цифровые двойники учитывают геологические, технологические и экономические факторы, что помогает принимать более обоснованные решения, минимизировать ошибки и повышать безопасность персонала.

Далее разрабатываются различные сценарии расположения подстанций и конфигурации оборудования, варианты установки опор воздушных линий и их трассировки, с учетом всей сопутствующей инфраструктуры. При разработке сценариев размещения подстанций и конфигурации оборудования цифровой инжиниринг используется как инструмент проектирования электрических сетей. Системы автоматизированного анализа позволяют определить оптимальное расположение трансформаторных подстанций, выполнить выбор сечений кабельных линий и воздушных трасс, оценить потери электроэнергии и вероятность перегрузок.

Завершающим этапом становятся подготовка проектной документации для нового объекта и формирование комплексного плана развития активов месторождения. Применение таких технологий позволяет оптимизировать производственные процессы и сократить сроки пересчета режимов на 1–3 месяца [5].

Таким образом, цифровой инжиниринг в нефтедобывающей отрасли непосредственно влияет на развитие электротехнических систем, поскольку электроснабжение является базовой составляющей технологической инфраструктуры месторождения.

Применение цифровых двойников, интеллектуальных систем мониторинга и многовариантного моделирования позволяет значительно повысить точность расчётов электрических нагрузок, оптимизировать схемы питания и повысить надёжность работы электротехнического оборудования. Данная система отличается высокой степенью сложности, поскольку включает значительные объемы разнородных данных, множество взаимосвязанных алгоритмов и требует тщательной проработки каждого этапа моделирования, что делает процесс её создания трудоёмким и требующим высокой квалификации специалистов.

Цифровой инжиниринг становится стратегическим направлением развития энергетических подразделений нефтедобывающих компаний, обеспечивая снижение эксплуатационных затрат, повышение энергоэффективности и повышение уровня промышленной безопасности. Интеграция цифровых решений в проектирование, эксплуатацию и модернизацию электрических сетей позволяет создавать более устойчивые, оптимизированные и гибкие системы электроснабжения.

Особую значимость имеет использование цифровых двойников для моделирования и расчета различных режимов работы электрической сети. На их основе выполняется анализ потерь электроэнергии, проверка на перегрузку линий и трансформаторов, а также оценка надёжности электроснабжения критически важных участков. Цифровое моделирование позволяет разрабатывать и сравнивать несколько сценариев размещения центральных и распределительных подстанций, прокладки воздушных и кабельных линий с учётом рельефа местности и существующей инфраструктуры, что способствует выбору наиболее экономически эффективной и технически обоснованной конфигурации сети.

Литература:

1. Что такое цифровая инженерия: определение и инструменты / [Электронный ресурс] <https://visuresolutions.com/ru/Блог/цифровая-инженерия/> (дата обращения: 07.11.2025).
2. Нараянан Раманатан. Цифровая инженерия - катализатор развития промышленности / Нараянан Раманатан // Control Engineering Россия. — 2020. — № #3 (87). — С. 16-17.
3. Хасанов М. М. Цифровой инжиниринг: от узкого к общему искусственному интеллекту / Хасанов М. М. [Электронный ресурс] // https://oil-industry.net/SD_Prezent/2022/09/Hasanov.pdf (дата обращения: 07.11.2025).
4. Журахов Ж. Цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли разведки и добычи // «Наука и Просвещение». – Пенза, 2022. – С. 9-11.
5. Шукуров М., Акмырадова Г., Аннамырадова Э. Важность цифровых двойников в нефтегазовой отрасли // Инновационная наука. – 2024. – № №12-2-2. – С. 142-144.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УЗЛА НАГРУЗКИ

А. А. Комписенко

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kompis2003@gmail.com

Научный руководитель: Дулов И. В., к.т.н., доцент

В программной среде MATLAB Simulink реализован метод определения напряжения в электрической сети на основе нахождения ортогональных составляющих вектора на комплексной плоскости. Испытания метода проводились по данным с системы измерения, которая включает микроконтроллер ESP32 и разработанный преобразователь напряжения. Погрешность определения действующего напряжения составила менее 1%.

A method for determining voltage in an electrical network, based on finding the orthogonal components of a vector on the complex plane, was implemented in the MATLAB Simulink software environment. This method was tested on a measurement system that includes an ESP32 microcontroller and a custom-developed voltage converter. The error in determining the RMS voltage was less than 1%.

Согласно стратегии развития энергетики, происходит увеличение темпов создания объектов малой распределенной генерации, на базе которых могут формироваться локальные системы электроснабжения, где единичная мощность электроприемников соизмерима с мощностью суммарной генерации. Управление в подобных системах может быть реализовано децентрализованно путем локального контроля состояния и режимов работы отдельных элементов электрической сети, в том числе узлов с мощными асинхронными двигателями [1]. Для реализации прогностического контроля работы узлов с двигательных нагрузкой необходима быстродействующая подсистема измерения. В данной работе представлен метод определения действующего значения напряжения, который может быть реализован в подобных устройствах контроля нагрузки.

Существуют различные методы определения действующего значения напряжения: нахождение амплитудного значения и деление его на корень из двух; определение среднеквадратичного значения сигнала за один период; метод ортогональных составляющих. Первый метод простой, но он имеет низкую точность из-за определения действующего значения по одной точке, также его результаты редко обновляются, один раз за полупериод. Второй имеет хорошую точность благодаря усреднению множества значений, но для его использования необходимо заранее знать частоту измеряемого сигнала. Ввиду своих недостатков

вышеперечисленные методы не подходят для быстродействующих систем измерения. Третий метод рассмотрим подробнее.

Синусоидальный сигнал можно представить как проекцию вращающегося вектора на вертикальную ось, длина этого вектора равна амплитуде сигнала. Вращающийся вектор и его проекции представлены на рисунке 1.

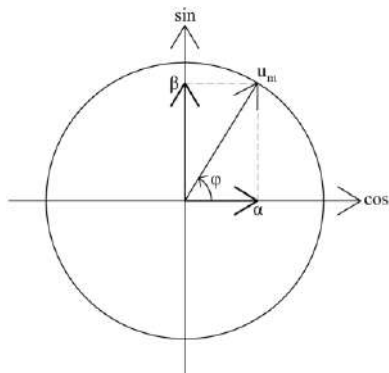


Рис. 1 – Проекции вращающегося вектора

Для нахождения длины вектора, необходимо сделать несколько шагов. Сначала нужно сгенерировать два опорных сигнала с единичной амплитудой и произвольной частотой, например, 50 Гц, и найти их произведение на исследуемый сигнал. Выражения (1) и (2) являются результатами умножения на опорные синус и косинус соответственно (X – исследуемый синусоидальный сигнал, B ; u_m – амплитуда сигнала, B ; f – частота сигнала, Гц; $f_{оп}$ – частота опорного сигнала, Гц):

$$\alpha = X \sin(2\pi f_{оп} t) = \frac{u_m}{2} [\cos(2\pi(f - f_{оп})t) - \cos(2\pi(f + f_{оп})t)] \quad (1)$$

$$\beta = X \cos(2\pi f_{оп} t) = \frac{u_m}{2} [\sin(2\pi(f - f_{оп})t) + \sin(2\pi(f + f_{оп})t)] \quad (2)$$

В результате получены сигналы, содержащие две гармонические составляющие: одна имеет разность частот опорного и исследуемого сигналов, а другая – их сумму. Для определения амплитуды исследуемого сигнала необходима только одна составляющая, например, составляющая с разностью частот, получить ее можно с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ). После прохождения сигналов (1) и (2) через ФНЧ будут получены сигналы (3) и (4):

$$\alpha = X \sin(2\pi f_{\text{оп}} t) = \frac{u_m}{2} \cos(2\pi(f - f_{\text{оп}})t) \quad (3)$$

$$\beta = X \cos(2\pi f_{\text{оп}} t) = \frac{u_m}{2} \sin(2\pi(f - f_{\text{оп}})t) \quad (4)$$

Полученные выражения являются действительной и мнимой составляющей вектора напряжения, чье действующее значение может быть получено по следующему выражению:

$$U = \frac{2}{\sqrt{2}} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$$

Преимущество данного метода над предыдущими заключается в высокой частоте обновления: обновление происходит с каждым снятым мгновенным значением напряжения. Кроме того, для определения напряжения не нужно заранее знать частоту сигнала.

Испытания метода проводились с использованием преобразователя напряжения собственной разработки [2], который подаёт преобразованный сигнал на микроконтроллер ESP32 для последующей обработки. Схема преобразователя представлена на рисунке 2.

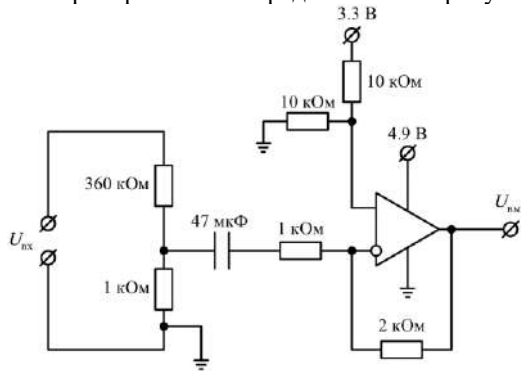


Рис. 2 – Схема преобразователя напряжения, подключаемого к микроконтроллеру

С помощью преобразователя, изображенного на рисунке 2, получена осциллограмма напряжения сети 220 В. Полученные данные были импортированы в MATLAB Simulink, где создана модель, реализующая алгоритм определения действующего значения напряжения. На рисунке 3 представлены осциллограмма напряжения сети 220 В, снятая с частотой дискретизации 3,3 кГц, и результаты расчетов действующего напряжения

двумя способами: методом ортогональных составляющих и нахождением среднеквадратичного.

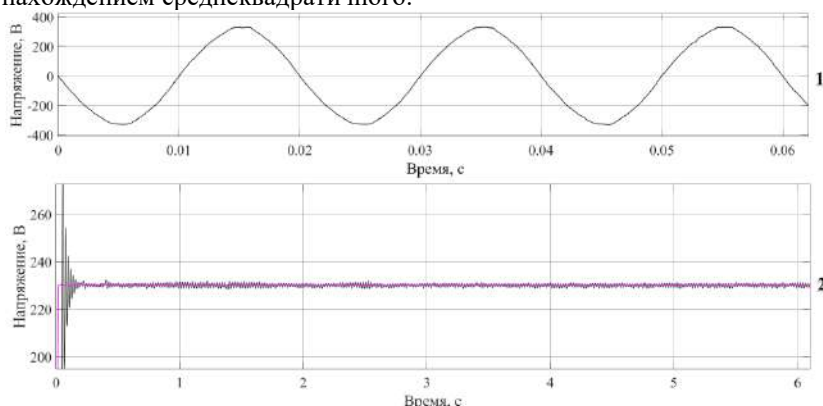


Рис. 3 – Осциллограммы напряжения сети 220 В: 1 – исходный сигнал; 2 – действующие значения

По рисунку 3 видно, что действующее значение напряжения, рассчитанное методом ортогональных составляющих, после начальных искажений соответствует среднеквадратичному значению с погрешностью менее 1%, обусловленной неидеальной фильтрацией сигнала на частоте 50 Гц. В начале сигнала имеются значительные отклонения, вызванные первоначальным накоплением данных в массив для фильтрации и наличием у фильтров обратной связи.

В данной работе был реализован метод определения действующего напряжения на основе нахождения ортогональных составляющих вектора на комплексной плоскости. Данный метод позволяет определять действующее напряжение любой частоты, с погрешностью менее 1%, обусловленной особенностями встроенных фильтров, параметры которых могут быть изменены для ее уменьшения.

Литература:

1. Сигнально-адаптивная система управления асинхронным электроприводом / Е.С. Кучер, А.А. Блинов, Г.С. Сидоров, Н.С. Попов // Электротехника. – 2022. – № 5. – С. 24-29.
2. Комписенко А. А. Разработка системы измерения режимных параметров узла нагрузки с асинхронными двигателями // НТИ: XVII Всероссийская научная конференция молодых ученых: сб. науч. тр. – Новосибирск: НГТУ, 2024. – С. 33-37.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ В СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ

П. Д. Костеренко

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, p.kosterenko54@gmail.com

Научный руководитель: Левин В. М., д.т.н., профессор

Достоверная идентификация развивающихся дефектов в силовых маслонаполненных трансформаторах является важным условием для принятия решений по безаварийной эксплуатации ответственных энергообъектов. Таким образом, задачи формирования эффективных диагностических моделей для идентификации дефектов маслонаполненного трансформаторного оборудования электростанций и электрических сетей являются актуальными.

Reliable identification of developing defects in oil-filled power transformers is essential for decision-making regarding the trouble-free operation of critical energy facilities. Therefore, the development of effective diagnostic models for identifying defects in oil-filled transformer equipment in power plants and electrical networks is undoubtedly a pressing issue.

Введение. Вопросы идентификации и диагностики технических систем широко известны [1] и формируют обширную повестку научных исследований в разных сферах применения. Все они объединены общим подходом к синтезу моделей идентификации состояния объекта на основе экспериментальных данных.

Методика хроматографического анализа газов, растворенных в масле силового трансформатора (ХАРГ) [2], основана на измерении концентраций газов: H_2 (водород); CH_4 (метан); C_2H_2 (ацетилен); C_2H_4 (этилен); C_2H_6 (этан); CO и CO_2 (оксид и диоксид углерода) в % объема растворенной в масле газовой смеси. Дальнейшая интерпретация по методике включает:

1) сравнение измеренных концентраций A_i с предельно допустимой нормой $A_{гpi}$, % об. ($i = 1...7$) и составление заключения об отсутствии при $A_i \leq A_{гpi}$, и наличии при $A_i > A_{гpi}$ признака, развивающегося в силовом трансформаторе (СТ) дефекта (критерий "граничных концентраций");

2) в случае наличия признака дефекта рассчитываются отношения пар «характерных» газов: CH_4/H_2 ; C_2H_2/C_2H_4 ; C_2H_4/C_2H_6 , по которым определяется вид и характер прогнозируемого дефекта. Дополнительно по отношению CO_2/CO определяется затронута ли дефектом бумажная изоляция или он сконцентрирован в масле;

3) затем по относительной скорости изменения концентраций $V_{отнi}$, % мес. выводится заключение о степени его опасности, возможности и

условиях продолжения эксплуатации СТ. По ХАРГ выявляют медленно развивающиеся дефекты электрического, термического либо смешанного вида. Согласно заявленным характеристикам, методика [2] обладает достоверностью диагноза на уровне 90%, что не всегда подтверждается практикой её применения.

На лицо наличие проблемы, несоответствия уровня достоверности интерпретации результатов ХАРГ высокой степени информативности данного метода. Разрешение указанной проблемы связано с применением метода статистической идентификации для формирования и верификации диагностической модели.

Модель идентификации дефектов в СМТ. Метод статистической идентификации дефектов СТ по результатам ХАРГ предусматривает формирование однородной представительной выборки измеренных концентраций газов [3]. Условием однородности статистических данных служит объединение протоколов ХАРГ СТ одного класса напряжения со схожими условиями эксплуатации. Приемлемая представительность выборки составляет 100 и более протоколов. Во избежание полимодальности распределений случайных значений признаков (концентраций отдельных газов) выполняется преобразование многомерного пространства признаков A_i на числовую ось $\Phi \in [0, +\infty)$:

$$\Phi = \sum_{i=1}^7 \left(\frac{A_i}{A_{\text{гpi}}} \right)^2 / \sum_{i=1}^7 \frac{A_i}{A_{\text{гpi}}}. \quad (1)$$

Здесь Φ , о.е. представляет собой свертку (1) – обобщенный признак, статистические характеристики которого отвечают одномодальному двухпараметрическому квазинормальному распределению. Это существенно облегчает условия достоверной классификации и упрощает построение необходимого решающего правила.

Формирование дихотомии классов состояний СТ: Π_1 – бездефектное и Π_2 – дефектное (отклонение от нормы) начинается со стартового разделения суммарной выборки A_i на две отдельные по критерию "граничных концентраций". Далее определяются числовые и интегральные характеристики случайной величины Φ в каждом из двух подмножеств.

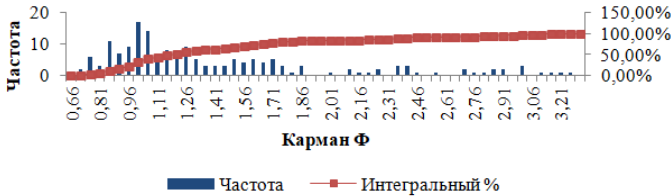
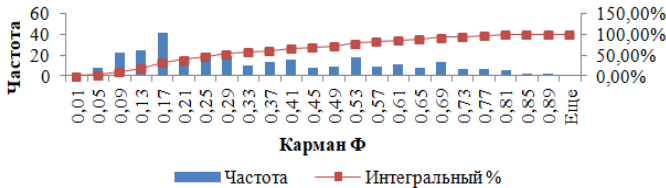
В качестве иллюстрации приведем результаты применения метода статистической идентификации для группы из 14 автотрансформаторов (АТ) 220 кВ района электрической сети за 14 лет эксплуатации (2001 - 2014). Представительность суммарной выборки составляет 464 протокола, из которых 291 протокол по [2] был отнесен к классу Π_1 , а 173 к классу Π_2 . В таблице приведены числовые характеристики распределений случайной переменной Φ : M_j – математическое

ожидание; σ_j – среднеквадратическое отклонение в каждом j -ом классе состояний.

Таблица 1 - Числовые характеристики случайной величины Φ

Класс состояний СТ, Π_1, Π_2	Математическое ожидание M_j , о.е.	Среднеквадратическое отклонение σ_j , о.е.
"норма"	0,33098	0,21727
"отклонение от нормы"	1,41043	0,62843

На рисунках 1, 2 представлены интегральные характеристики Φ для каждого из выделенных классов состояний СТ, по которым виден диапазон изменения случайной величины и характер её распределения.



Формирование решающего правила выполняется с применением Байесовского отношения правдоподобия [3], либо по упрощенному выражению (2), иллюстрирующему "правило 3-х сигм" для случая нормального распределения случайной величины Φ :

$$\Phi_{гр} = M_1 + k\sigma_1, \tag{3}$$

где k – вычислительная константа из интервала 2 – 3, выбирается эмпирически. Выбор значения k непосредственно влияет на суммарную ошибку идентификации дефектов по решающему правилу:

$$\Phi \leq \Phi_{гр} \in \text{класс } \Pi_1; \quad \Phi > \Phi_{гр} \in \text{класс } \Pi_2. \tag{4}$$

Согласно (3) $\Phi_{гр} = 0,33098 + 2 \cdot 0,21727 = 0,7655$ о.е. и решающее правило (4) к практической реализации подготовлено.

В одном из подконтрольных АТ на интервале наблюдения по критериям [2] прогнозируется термический дефект с превышением концентраций CH_4 , CO_2 и CO , что характерно для пониженного уровня масла в баке. На рис. 3 показан тренд изменения признака Φ за период эксплуатации АТ и граница раздела дихотомии классов состояний $\Phi_{гр} = 0,7655$. Диаграмма наглядно демонстрирует характер и динамику изменений состояния АТ по решающему правилу (4). Практика его применения подтверждает достоверность идентификации дефектов по ХАРГ на уровне 97% [3].

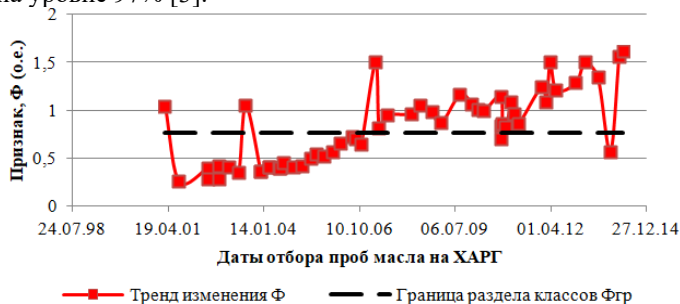


Рис. 3 Изменение Φ относительно $\Phi_{гр}$ за период эксплуатации АТ

Заключение. ХАРГ служит одним из наиболее информативных методов диагностирования маслonaполненного трансформаторного оборудования в условиях эксплуатации. Достоверную интерпретацию результатов ХАРГ обеспечивает применение методов статистической идентификации развивающихся дефектов в СТ, один из которых базируется на Байесовском отношении правдоподобия. Формируемые с его применением модели и критерии принятия решений обладают рядом преимуществ перед типовой методикой [2]:

- повышенная до 97% достоверность идентификации за счет свойств Байесовского решающего правила;
- удобство и наглядность получаемых практических приложений;
- возможность извлечения дополнительной диагностической информации при обработке первичных данных измерений.

Литература:

1. Алексеев А. А. Идентификация и диагностика систем: учебник / А.А. Алексеев, Ю.А. Кораблев, М.Ю. Шестопалов. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 352 с.

2. РД 153–34.0–46.302–00 Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. – М.: НЦ ЭНАС, 2001. – 27 с.

3. Левин В. М. Статистический метод распознавания дефектов в силовых трансформаторах при их техническом обслуживании по состоянию // Промышленная энергетика. – 2013. – № 8. – С. 37–42.

РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА ПО СОСТОЯНИЮ

И. В. Кузенко

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, kuzenko.2021@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Фролов М. Ю., к.т.н., доцент

Реализован метод синтеза линейного регулятора состояния для управления синхронным генератором, основанный на принципах модального управления с использованием линеаризованной модели в пространстве состояний. Данный метод позволяет сократить величину колебаний и время переходного процесса. Ключевым преимуществом предложенного подхода является статический характер регулятора, сохраняющего исходную размерность системы и обеспечивающего повышенную работоспособность управления.

A method for synthesizing a linear state controller for controlling a synchronous generator based on the principles of modal control using a linearized model in the state space is implemented. This method makes it possible to reduce the magnitude of fluctuations and the time of the transition process. The key advantage of the proposed approach is the static nature of the regulator, which preserves the initial dimension of the system and provides increased control efficiency.

Современные задачи управления электромеханическими режимами энергосистем требуют разработки алгоритмов, обладающих не только высоким быстродействием, но и гарантированными показателями устойчивости при вариациях параметров, в связи с чем использование классических ПИД-регуляторов, характеризующихся эмпирической настройкой и наличием интегральной составляющей, повышающей порядок системы, представляется методологически ограниченным. В качестве альтернативы предлагается метод, основанный на синтезе регулятора по состоянию для линейной модели синхронного генератора, вида:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (1)$$

где матрицы A и B определяются линеаризацией уравнений Парка-Горева в окрестности установившегося режима, что позволяет перейти к анализу системы стандартного вида и применить аппарат теории модального управления.

Исходная нелинейная модель динамики ротора, описываемая уравнением (2), подвергается линеаризации, в результате которой получается система в пространстве состояний с вектором $x = \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix}$, где матрица динамики A содержит коэффициенты при уравнении, а матрица B отражает влияние механического момента. Синтез управляющего воздействия, описываемый уравнением (4), осуществляется методом размещения характеристических корней, при этом их выбор производится исходя из компромисса между быстродействием и запасом устойчивости.

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} + k_f \frac{d\delta}{dt} = M_T - M_{эм} \quad (2)$$

В матричном виде уравнение (2) имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{k_f}{T_j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{T_j} \end{bmatrix} \Delta M \quad (3)$$

$$\Delta u = -Kx, \quad (4)$$

где $K = [k_\theta \quad k_\omega]$ – матрица обратных связей.

Главным достоинством предложенного метода является статический характер регулятора, который, формально соответствуя структуре ПИ-регулятора, лишенной интегральной составляющей, что имеет принципиальное значение с позиций критерия Гурвица, поскольку увеличение порядка системы за счет введения интеграторов, так как повышает астатизм, но одновременно усложняет задачу обеспечения устойчивости, требуя размещения дополнительного характеристического корня в левой полуплоскости. В данном случае, объект управления исходно описывается дифференциальными уравнениями, а регулятор является статическим звеном с обратными связями по состоянию, результирующая замкнутая система сохраняет исходную размерность, что не только упрощает анализ устойчивости, но и повышает сопротивляемость качества переходных процессов к вариациям параметров сети и нагрузок.

Для реализации предложенного метода управления разработана цифровая модель линейного регулятора по состоянию в среде MATLAB/Simulink, которая представлена на рисунке 1.

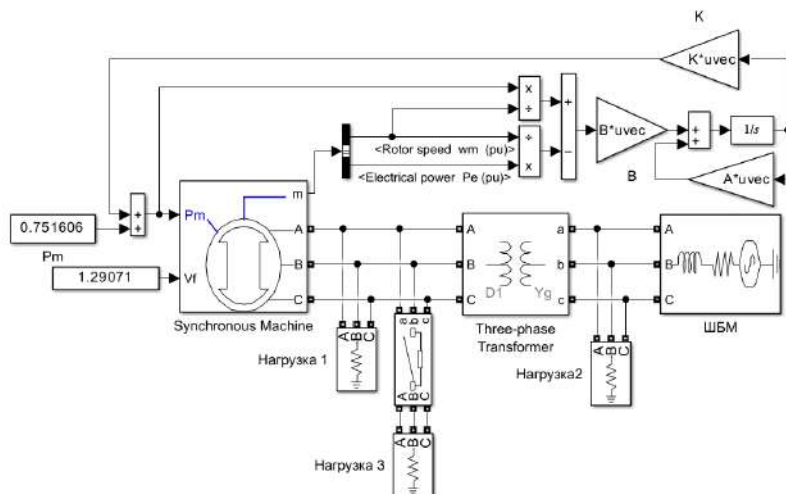


Рис. 1 – Цифровая модель линейного регулятора по состоянию

В модель рисунка 1, на второй секунде моделирования подключается дополнительная активная нагрузка 3 в соединительную линию между шинами бесконечной мощности, представляющими идеальный источник напряжения с неизменными параметрами, и синхронным генератором. Записываются зависимости параметров частоты сети и скорости вращения ротора от времени, представленные на рисунках 2 и 3.

Из рисунков 2 и 3 видно, что в неуправляемой системе, при возникновении возмущающего воздействия в виде подключения нагрузки в системе наблюдаются колебания скорости ротора с значительной амплитудой и продолжительным временем затухания, что свидетельствует о недостаточном демпфировании и ограниченном запасе устойчивости неуправляемой системы. Введение в систему управления линейного регулятора состояния, рассчитанного на основе линеаризованной модели в пространстве состояний, позволяет снизить величину колебаний скорости ротора на 0,3 Гц и сократить их продолжительность на 3,5 с (в 1,8 раза).

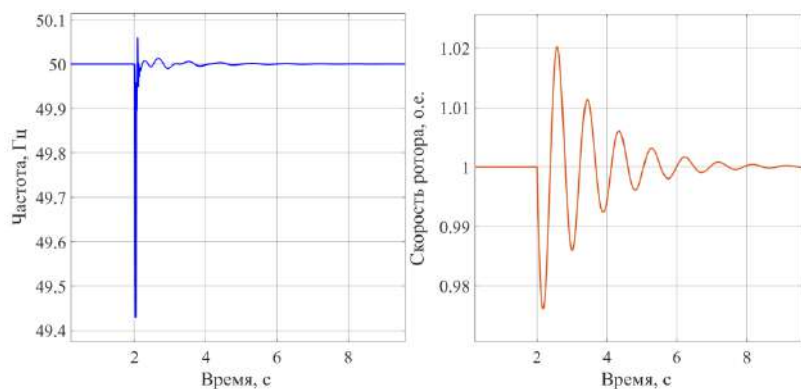


Рис. 2 – Зависимость частоты сети и скорости вращения ротора от времени в неуправляемой системе

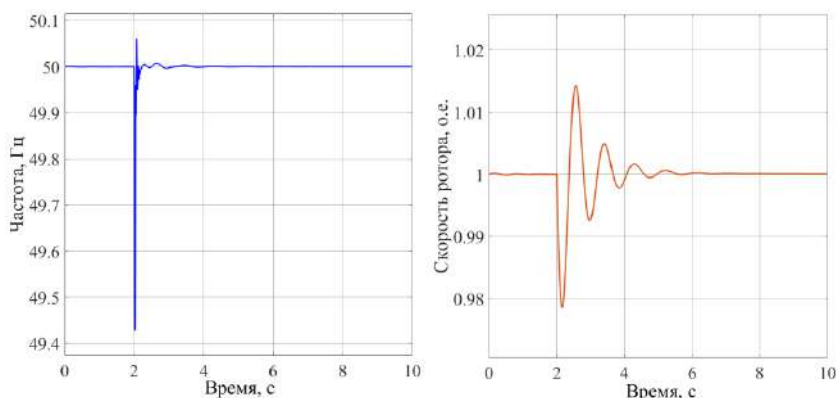


Рис. 3 – Зависимость частоты сети и скорости вращения ротора от времени в управляемой системе

Таким образом, полученные результаты не только верифицируют корректность теоретического подхода, но и подтверждают его преимущества перед классическими решениями, открывая перспективы для создания высокоэффективных систем управления электромеханическими режимами, предъявляющих повышенные требования к быстродействию и устойчивости.

Литература:

1. Веников В. А., Жуков Л. А. Теория переходных процессов в синхронных машинах. – Москва.: Энергия, 2015. – 480 с.

2. Ульянов С. А. Электромеханические переходные процессы в энергетических системах. – Москва.: НТФ «Энергопрогресс», 2018. – 532 с.

3. Коротков В. Ф. Автоматическое регулирование в электроэнергетических системах. – Москва.: МЭИ, 2013. – 415 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВОГО ОРГАНА ДЛЯ АВТОМАТИКИ ОГРАНИЧЕНИЯ СНИЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЧАСТОТЫ В ОБЪЕКТАХ С МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

М. З. Одинабеков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, odinabekov97@mail.ru**

Научный руководитель: Фишов А. Г., д.т.н., профессор

Доклад посвящен вопросам фиксации возникновения динамического небаланса мощности и оценки производной изменения частоты вращения ротора генерирующего оборудования, в частности, газопоршневых установок, в объектах с малой генерацией с использованием электромеханического фильтра при набросах и сбросах нагрузки. Подтверждена работоспособность предложенного способа.

The report is devoted to the issues of detecting the occurrence of a dynamic power imbalance and estimating the derivative of the generating equipment rotor speed change, in particular, gas piston units, in facilities with small-scale generating using an electromechanical filter during load pickups and rejections. The operability of the proposed method has been confirmed.

Введение. Масштабное развитие объектов малой генерации и локальных систем энергоснабжения (ЛСЭ) на её основе, функционирующих как в составе объединенных энергосистем, так и в изолированных районах, создает ряд новых задач. Решение этих задач способствует улучшению их управляемости и безопасности эксплуатации.

Генерирующие установки, используемые в ЛСЭ, в частности, газопоршневых установок (ГПУ), очень чувствительны к набросам/сбросам нагрузки, что связано с их малой механической инерцией (менее 1с) [1]. Аварийные небалансы в сети приводят к отключению энергоблоков ГПУ их внутренними защитами по недопустимым отклонениям частоты от номинального значения, что вызывает полное погашение системы.

Существующая автоматика опережающее сбалансированное деления (АОСД) [2], неэффективна в изолированном режиме ЛСЭ при

значительных набросах и сбросах нагрузки. Таким образом, для надежного электроснабжения потребителей, в ЛСЭ необходимо обеспечить эффективное автоматическое предотвращение опасных отклонений частоты. Поскольку в ЛСЭ процесс изменения частоты развивается очень быстро, противоаварийная балансирующая автоматика эффективна только при *экстренном* управлении по скорости изменения частоты или будут использованы иные способы фиксации аварийного небаланса.

Методы для обеспечения требуемого быстродействия. Согласно требованиям нормативных документов по РЗА, для противоаварийного управления допустимы только прямые измерения [3], а именно: угол ротора, напряжение и активная мощность генератора, которые потенциально пригодны для оценки производной частоты.

В таблице 1 представлено сопоставление способов применительно к задаче экспресс ограничения повышения и снижения частоты в ЛСЭ.

Таблица 1 – Сравнение способов контроля в ЛСЭ

№	Название	Суть	Достоинства	Недостатки
1	Контроль углов роторов генераторов	Прямое цифровое измерение положения оси ротора генератора с помощью специального датчика	Идеальность принципа измерения	Усложнение конструкции, усреднение значения скорости для многоагрегатных станций
2	Контроль частоты напряжения на генераторных шинах ЛСЭ	Прямое цифровое измерение угла напряжения цифровым методом непосредственно в синхронно вращающейся системе координат	Простота и универсальность измерения	Скачки угла и амплитуды вектора напряжения при коммутациях, изменение амплитуды в процессе
3	Контроль набросов/ сбросов мощности генераторов ЛСЭ	Прямое цифровое измерение производной частоты на интервалах наброса/сброса мощности генераторов	Простота измерения	Зависимость от состава оборудования, невозможность измерения на всем интервале процесса
4	Контроль частоты прямой последовательности и напряжения	Прямое цифровое измерение угла вектора прямой последовательности напряжения с фильтрацией скачков и провалов	Универсальность измерения	Измерительное запаздывание и динамическая погрешность

Результаты исследования. Предложенный способ решает задачу фильтрации бросков фазы напряжения в момент короткого замыкания и фиксации сбросов/набросов нагрузки. В способе в канале измерения используется электромеханический фильтр (ЭМФ), представляющий собой два сельсина, используемых в качестве синхронного генератора (СГ) и синхронного двигателя (СД), валы которых механически связаны (рис. 1). СД вращается за счет напряжения прямой последовательности. Режимы СД и СГ являются режимами холостого хода.

Ниже представлены результаты исследования на электродинамической модели энергосистем НГТУ.

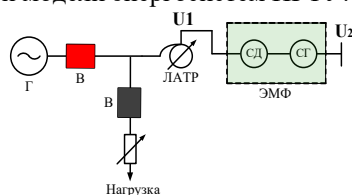
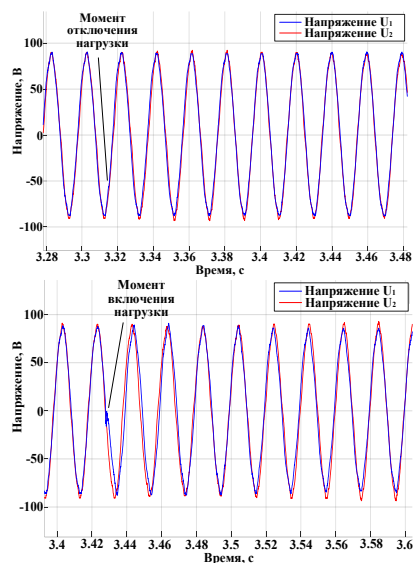


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой простую сеть с генератором (3 кВт), коммутируемой нагрузкой и электромеханическим измерительным фильтром на базе двух сельсинов, подключенным через лабораторный автотрансформатор ($ЛАТР$), возбуждаемых от источника постоянного тока. Регистрация мгновенных значений напряжения производились с помощью цифрового осциллографа.

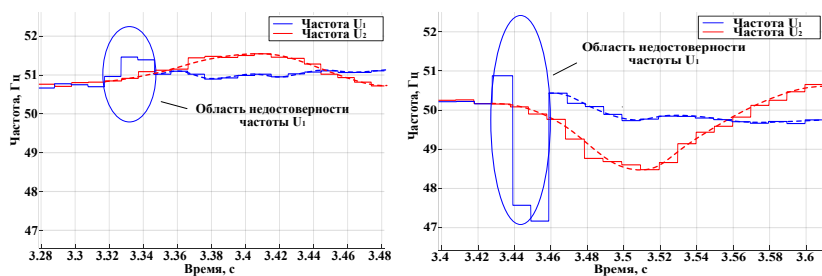
Результаты экспериментов. Процессы при набросе/сбросе нагрузки, и характерные осциллограммы напряжений в питающей сети (U_1) при набросе/сбросе нагрузки и на выходе $ЭМФ$ (U_2), рассчитанная частота и ее производная с интервалами в полупериод, представлены на рис. 2 - 4.



а

б

Рис. 2 –Осциллограмма напряжений а) на интервале 3,2-3,48 с при отключении нагрузки, б) на интервале 3,4-3,6 с при включении нагрузки



а

б

Рис. 3 – Графики изменения частот напряжений U_1 и U_2 при отключении (а) и включении (б) нагрузки

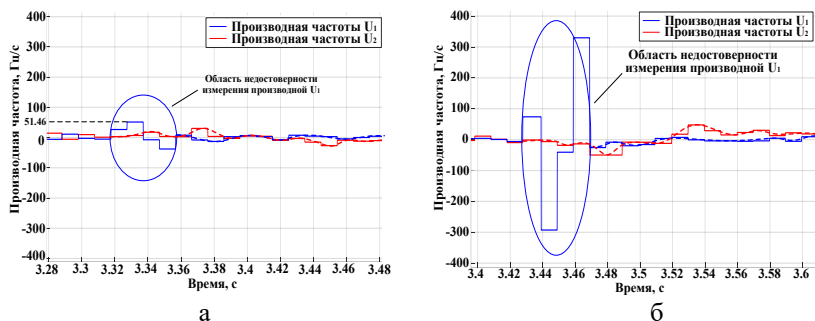


Рис. 4 – Графики производных частот при отключении (а) и включении (б) нагрузки

Представленные на рис. 2 осциллограммы свидетельствуют о том, что большее возмущение при включении нагрузки, чем при её отключении, объясняется нелинейностью вольтамперной характеристики ламп накаливания, из-за которой включение вызвало значительный сдвиг фазы питающего напряжения U_1 . Этот сдвиг привёл к недопустимым ошибкам в определении частоты (30мс) и её производной (40мс) по U_1 , в то время как измерения по напряжению U_2 сохранили информативность во всех интервалах (рис. 3,4).

Закключение. В квазиустановившихся режимах электромеханический фильтр обеспечивает качественное измерение частоты независимо от симметрии и отклонений напряжения. В динамических режимах он решает ключевую проблему традиционных методов (скачки фаз и провалы напряжения критичные для быстродействующей автоматики для принятия решений за 1-2 периода промышленной частоты): инерция ротора сохраняет непрерывность фазы, а автономность генератора обеспечивает синусоидальность и стабильность выходного сигнала, что подтверждено испытаниями на физической модели для использования в быстродействующей автоматике экспресс ограничения повышения и снижения частоты в ЛСЭ.

Литература:

1. Одинабеков М. З. Экспресс ограничение снижения и повышения частоты в энергосистемах малой мощности. Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр. 17 Всерос. науч. конф. молодых ученых (Новосибирск, 4–8 дек. 2023 г.) Новосибирск: НГТУ, 2024. Ч: 4. С. 77–81.
2. Марченко А. И. Автоматика опережающего деления в схемах присоединения малой генерации к электрической сети / А.И. Марченко,

А.Г. Фишов // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации. 2017. № 5. С. 8–18.

3. ГОСТ Р 55105-2019. Стандарт ОАО «СО ЕЭС». Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. Приложение к приказу ОАО «СО ЕЭС» от 26.12.2019 № 1484-ст. URL: <https://docs.cntd.ru> (дата обращения: 7.11.2025).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ГОРОДА ОМСКА

А. П. Петров, К. А. Носихин, Д. В. Махновская
Омский государственный технический университет,
г. Омск, 1z2z3z4z2z@mail.ru

В статье рассматривается проблема промышленного аккумулирования электроэнергии, которая является критически важной для интеграции возобновляемых источников энергии. В работе осуществляется анализ существующих технологий накопления энергии, проведено сравнительное исследование существующих систем накопления. На основе анализа делается вывод о том, что для условий города Омска наиболее перспективной технологией являются электрохимические аккумуляторы, в то время как другие рассмотренные решения малоэффективны или неприменимы в данном регионе.

The article discusses the problem of industrial energy storage, which is critically important for the integration of renewable energy sources. The paper analyzes existing energy storage technologies, and provides a comparative study of existing storage systems. Based on the analysis, it is concluded that electrochemical batteries are the most promising technology for the conditions of the city of Omsk, while other solutions considered are ineffective or inapplicable in this region.

Введение. Промышленное аккумулирование электроэнергии становится все более актуальным в условиях роста потребления энергии и необходимости интеграции возобновляемых источников. Эффективные системы хранения позволяют сглаживать пиковые нагрузки, обеспечивая стабильность и надежность электросетей. Внедрение технологий аккумулирования способствует оптимизации энергетических затрат и снижению углеродного следа. Таким образом, исследование методов и технологий хранения электроэнергии

представляет собой важный шаг к устойчивому развитию энергетической инфраструктуры.

Материалы и методы.

Гидроаккумулирующие станции. Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) функционирует по принципу энергонакопления, используя два резервуара — верхний и нижний, с перепадом высот от 50 до 500 метров. Её сердцем является машинный зал с уникальными обратимыми агрегатами, способными попеременно действовать либо как насосы, закачивая воду наверх, либо как генераторы, вырабатывающие ток. Для работы с высоким напором применяются отдельные турбинные и насосные установки.

Ночью, когда спрос на электроэнергию падает, эти агрегаты переводят излишки энергии из сети на закачку воды в верхний бассейн. В часы пиковой нагрузки происходит обратный процесс: накопленная вода сбрасывается вниз, вращая турбины и возвращая энергию в систему. Хотя КПД цикла составляет около 85%, а себестоимость киловатт-часа выше, чем у ТЭС, ключевая выгода ГАЭС заключается в ином. Они эффективно сглаживают пики потребления, позволяя снизить требуемую мощность тепловых станций и тем самым значительно сократить общие эксплуатационные расходы энергосистемы, что полностью оправдывает их строительство [1].

Маховики. Механические аккумуляторы второго типа находят применение в качестве накопителей энергии для транспортных средств. Функционирование такого устройства основано на простом физическом принципе: его основу составляет маховик значительной массы, который приводится во вращение с огромной угловой скоростью. Аккумулируемой энергией в данном случае является кинетическая энергия вращающегося маховика. Повышение энергоемкости достигается двумя путями: увеличением массы маховика или ростом его скорости вращения. Второй путь эффективнее, но имеет фундаментальное ограничение — с увеличением оборотов пропорционально растет центробежное напряжение, способное привести к разрушению маховика. В связи с этим к материалам для их производства предъявляются требования исключительной механической прочности [2].

Электрохимический аккумулятор

Электрохимический аккумулятор работает по принципу обратимой конверсии энергии. При заряде он запасает подводимое электричество, переводя его в химическую форму. При разряде происходит обратный процесс, и накопленная энергия вновь поступает к потребителю в виде электрического тока [3]. Основными компонентами устройства являются

два электрода, помещенные в раствор электролита. Преобразование химической энергии в электрическую происходит через химическую реакцию, которая активируется при замыкании внешней цепи. Суть процесса в том, что на отрицательном электроде (аноде) идет окисление восстановителя, генерирующее поток свободных электронов. Этот поток и представляет собой электрический ток, который движется по внешней цепи к положительному электроду.

Конденсаторы

Самыми массовыми устройствами, применяемыми для запасаания электрической энергии, остаются классические радиотехнические конденсаторы. К неоспоримым достоинствам этих приборов относят способность мгновенно накапливать и отдавать энергию, сохраняя работоспособность в обширном интервале температур и демонстрируя многолетнюю надежность [4].

Для увеличения общей емкости используется параллельная сборка из нескольких конденсаторов, что позволяет легко масштабировать систему под требуемые параметры. Однако наряду с преимуществами, данным решением свойственны и серьезные ограничения. Главным из них является крайне низкая плотность хранения энергии, что предопределяет их скромные показатели емкости на фоне альтернативных классов накопителей. Другим критическим недостатком служит высокая скорость саморазряда: период сохранения энергии редко достигает нескольких часов и часто исчисляется секундами или долями секунд, что исключает их применение в системах, требующих длительного резервирования питания [5]. Сравнения видов аккумуляирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительная таблица

Характеристика	Конденсатор	Электрохимический аккумулятор	Маховики	ГАЭС
Принцип работы	Хранение энергии в электрическом поле между обкладками	Химические реакции, которые обратимы	Кинетическая энергия вращения	Гравитация, перепад высот
Энергоемкость	Низкая-средняя	Высокая, может хранить значительно больше энергии на единицу массы и объема	Низкая (2.5-450 Втч/кг)	Высокая
Скорость заряда/разряда	Очень высокая (микросекунды)	Высокая (минуты)	Очень высокая (секунды-минуты)	Низкая (минуты-часы)
Срок службы	Очень большой (сотни тысяч и миллионы циклов)	Ограниченный (сотни или тысячи циклов)	Очень долгий (тысячи циклов)	Долгий (15-20 лет)
Саморазряд	Высокая скорость саморазряда	Низкая скорость саморазряда	Очень низкий (зависит от системы)	Низкий
Применение	Импульсные устройства (микрофоны, фонарики), фильтрация, стабилизация напряжения, кратковременные всплески энергии	Длительное питание устройств (смартфоны, ноутбуки, автомобили)	Стабилизация сети, кратковременное хранение энергии	Регулирование частоты, пиковые нагрузки
Требования к месту	Низкие (легкие)	Низкие (герметичный корпус)	Высокие (вакуум, высокая скорость вращения)	Очень высокие (требуется большое помещение)
Время отклика	Низкое (миллисекунды-секунды)	Высокое (секунды-минуты)	Очень низкое (секунды-миллисекунды)	Среднее (секунды)
Время хранения энергии	Короткое (минуты-часы)	От нескольких часов до нескольких дней	Долгое (часы-дни)	Высокое (до нескольких месяцев)

Заключение В Омске, учитывая его географию и энергетическую инфраструктуру, электрохимические аккумуляторы являются наиболее востребованной и перспективной технологией для промышленного аккумулирования электроэнергии. Они универсальны, модульны и способны решать широкий круг задач, связанных с надежностью, эффективностью и развитием энергосистемы. ГАЭС абсолютно не подходят, а маховики и суперконденсаторы имеют свои нишевые применения, но не решают проблему крупномасштабного хранения энергии.

Литература:

1. Хайитбоев Д. Гидроаккумулирующие электрические станции: принцип работы, преимущества и перспективы развития // Modern Science and Research. –2025. – Vol. 4, iss. 5. – P. 1034–1035.
2. Смоленцев Н. И., Бондарева В.Ю. Результаты разработки и экспериментальных исследований накопительного комплекса с накопителем энергии СПЭНЭ-1 // Известия высших учебных заведений. проблемы энергетики. – 2024. – № 6. – С. 121–131.
3. Желтиков В. П. Современные электрохимические системы аккумулирования энергии // Электротехнические комплексы и системы: материалы междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 27-30 октября 2021 г. – Уфа: Издво УГАТУ, 2021. – С. 229–235.
4. Казаков В. Д. Электрорадио компоненты. Конденсаторы. Резисторы. Дроссели: справочник / В. Д. Казаков. – М.: Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. – 172 с.
5. Иванова Т. А., Петров А. В. Современные аккумуляторные технологии. – СПб.: Наука, 2022. –198 с

ФАЗОУКАЗАТЕЛИ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРЯДКА ЧЕРЕДОВАНИЯ ФАЗ

А. П. Петров, Т. Р. Джетегенов, А. Е. Рягузов
Омский государственный технический университет,
г. Омск, 1z2z3z4z2z@mail.ru

В статье проведен анализ современных и передовых методов и приборов для определения порядка чередования фаз в трехфазных системах электроснабжения. Рассмотрены принципы работы индукционных, электродинамических и электронных фазоуказателей. Проведен сравнительный анализ их характеристик по точности, безопасности и функциональности. Установлено, что современные электронные фазоуказатели обладают

значительными преимуществами по сравнению с традиционными приборами. Определены основные критерии выбора фазоуказателей для различных условий эксплуатации.

The article analyzes modern and advanced methods and devices for determining the phase sequence in three-phase power supply systems. The principles of operation of induction, electrodynamic, and electronic phase indicators are considered. A comparative analysis of their accuracy, safety, and functionality is conducted. It is established that modern electronic phase indicators have significant advantages over traditional devices. The main criteria for selecting phase indicators for various operating conditions are determined.

Введение. Трехфазные системы переменного тока являются основой современной электроэнергетики. Корректное определение порядка чередования фаз (А-В-С или А-С-В) критически важно при подключении трехфазного электрооборудования. Неверное чередование приводит к реверсивному вращению электродвигателей, некорректной работе измерительных трансформаторов и устройств релейной защиты.

Особую актуальность проблема контроля порядка чередования фаз приобретает в условиях роста мощности и сложности промышленных электроустановок. Современные требования к электробезопасности и надежности работы оборудования диктуют необходимость применения совершенных и инновационных методов контроля [1].

Целью исследования является анализ современных методов определения порядка чередования фаз, оценка их эффективности и разработка рекомендаций по выбору фазоуказателей для различных условий эксплуатации.

Материалы и методы. В исследовании использованы методы сравнительного анализа технических характеристик фазоуказателей различных типов. Рассмотрены три основные группы приборов: индукционные, электродинамические и электронные фазоуказатели.

Индукционные фазоуказатели (например, ФУ-2) основаны на принципе вращающегося магнитного поля. При подключении к трехфазной сети создается магнитное поле, направление вращения которого зависит от порядка чередования фаз. Это поле воздействует на алюминиевый диск, вызывая его вращение в соответствующем направлении [2,3].

Электродинамические фазоуказатели используют взаимодействие магнитных полей неподвижной и подвижной катушек. При изменении порядка чередования фаз изменяется направление вращающего момента, что вызывает отклонение стрелки прибора в одну из соответствующих сторон [4,5].

Электронные фазоуказатели (Fluke 9040, APPA 620) осуществляют цифровую обработку сигналов трех фаз. Микропроцессор анализирует

временные задержки сигналов между переходами через ноль и определяет последовательность фаз. Результат измерения отображается на цифровом дисплее устройства.

Результаты и обсуждение. Проведенный сравнительный анализ позволил выявить преимущества и недостатки различных типов фазоуказателей (таблица 1). Индукционные фазоуказатели демонстрируют удовлетворительную точность при минимальной стоимости. Однако они требуют непосредственного подключения к токоведущим частям, что создает риск для оператора. Кроме того, их работа нарушается при не симметрии напряжений в сети.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики фазоуказателей

Параметр	Индукционные	Электродинамические	Электронные
Точность	Средняя	Высокая	Очень высокая
Безопасность	Низкая	Низкая	Высокая
Функциональность	Базовая	Базовая	Расширенная
Устойчивость	Низкая	Средняя	Высокая
Стоимость	Низкая	Средняя	Высокая

Электродинамические приборы обеспечивают высокую точность измерений, но имеют те же проблемы с безопасностью, что и индукционные модели. Их применение в промышленных условиях ограничено из-за сложности конструкции.

Электронные фазоуказатели показывают наилучшие результаты по всем параметрам. Они обеспечивают безопасность оператора благодаря изолированным щупам и защитным функциям. Цифровая обработка сигнала позволяет корректно работать в условиях не симметрии и помех. Дополнительные функции включают измерение напряжения, частоты, обнаружение обрыва фазы. Анализ современных моделей показал, что профессиональные электронные фазоуказатели соответствуют категориям безопасности CAT IV 600V, что позволяет использовать их в промышленных распределительных устройствах. Средняя стоимость таких приборов составляет 15 000-45 000 рублей, в то время как индукционные доступны за 3 000-5 000 рублей.

Важным аспектом является техника безопасности при работе с фазоуказателями. Для электронных приборов обязательным является использование средств индивидуальной защиты и проверка соответствия категории безопасности прибора классу электроустановки.

Заключение:

1. Современные электронные фазоуказатели обладают значительными преимуществами перед традиционными приборами по точности, безопасности и функциональности.

2. Выбор типа фазоуказателя должен определяться условиями эксплуатации. Для профессионального применения в промышленности рекомендованы электронные приборы с категорией безопасности не ниже CAT IV 600V.

3. Дальнейшее развитие фазоуказателей связано с интеграцией функций диагностики качества электроэнергии и возможностью беспроводной передачи данных.

4. Применение современных фазоуказателей является важным элементом обеспечения электробезопасности и повышения надежности работы трехфазных электроустановок.

Литература:

1. Шабалин Л. Д. Исследование работы судового электротехнического комплекса при питании от береговой сети с повышенным напряжением / Л. Д. Шабалин, А. Е. Савенко, П. С. Савенко // Актуальные проблемы и перспективы развития морской техники и технологий: сборник трудов конференции. – 2017. – С. 282–287.

2. Пат. 1126901 А1 СССР, МПК G01R 29/18. Указатель чередования фаз / Дружинин А. Я.; заявитель и патентообладатель Дружинин А. Я. № 3473612/22-07; заявл. 16.07.82; опубл. 30.11.84.

3. Пат. 1272284 А1 СССР, МПК G01R 29/18. Фазоуказатель / Бахолдин Б. А., Малкин Б. М., Рева С. И., Ушаков А. И.; заявитель и патентообладатель Днепропетровский ордена Трудового Красного Знамени металлургический институт им. Л. И. Брежнева. № 3861985/24-07; заявл. 04.03.85; опубл. 23.11.86.

4. Пат. 1515249 А1 СССР, МПК G01R 29/18. Фазоуказатель / Дружинин А. Я.; заявитель и патентообладатель Дружинин А. Я. № 4210002/07; заявл. 17.03.87; опубл. 15.10.89.

5. Пат. 1585859 А1 СССР, МПК G01R 29/18. Устройство для определения порядка чередования фазных напряжений сети / Сидоренко И. Т., Маревич К. Н., Бакуменко В. С.; заявитель и патентообладатель Донецкий политехнический институт. № 4439679/24-07; заявл. 13.06.88; опубл. 15.08.90.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ НАЛИЧИИ РЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Н. С. Плохотниченко, У. А. Акимова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, plohotnichenko.2021@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Фролов М. Ю., к.т.н., доцент

В работе выполнена идентификация электромеханических параметров синхронного генератора при моделировании с учётом регуляторов скорости и возбуждения. Показано, что применение подпространственных методов не обеспечивает корректного результата. Произведена модификация исходной схемы путем введения блока усилителей, реализующего линейную модель механической динамики ротора, и предложена методика адаптивной идентификации, в которой подпространственные методы применяются для восстановления параметров.

The study presents the identification of electromechanical parameters of a synchronous generator under modeling conditions that include speed and excitation regulators. It has been shown that direct application of subspace methods does not provide accurate results. The original scheme was modified by introducing an amplifier block implementing a linear model of the rotor mechanical dynamics, and an adaptive identification approach was proposed, in which subspace methods are employed to estimate the parameters.

Введение. В реальных условиях синхронный генератор функционирует во взаимосвязи с системами автоматического регулирования возбуждения и частоты вращения, что существенно влияет на его динамическое поведение и усложняет процедуру определения параметров.

В ряде работ [1,2] подпространственные методы идентификации применялись к моделям синхронных генераторов, включающим регуляторы, однако определялись преимущественно электрические параметры, либо характеристики систем управления, тогда как электромеханические параметры непосредственно не восстанавливались.

В настоящей работе рассмотрена возможность идентификации электромеханических параметров синхронного генератора, функционирующего в составе систем автоматического регулирования, а также предложен подход к адаптивной идентификации, в котором подпространственные методы используются в качестве инструмента восстановления параметров.

Описание исследуемой системы. Исследование проведено на цифровой модели синхронного генератора, реализованной в среде MATLAB/Simulink. В качестве объекта моделирования использована стандартная модель синхронной машины номинальной мощностью 200 МВА и номинальным напряжением 13,8 кВ, функционирующей в составе энергосистемы (рис.1). В параметрах модели заданы значения постоянной инерции ротора $T_j = 6,4$ с и постоянной демпфирования $K_d = 0,005$ о.е. В модели учтено взаимодействие генератора с системами автоматического регулирования частоты вращения и возбуждения, что отражает реальные условия эксплуатации.

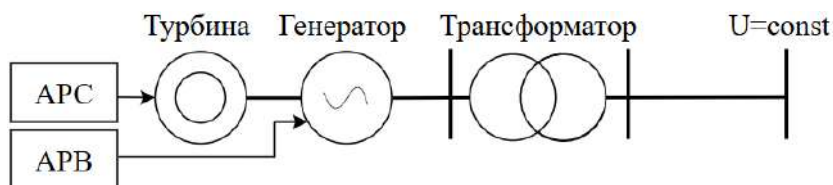


Рис.1 – Схема исследуемой системы

Проведение идентификации. На первом этапе идентификация электромеханических параметров синхронного генератора выполнялась модели, включающей регуляторы частоты вращения и возбуждения. В качестве входного сигнала использовалось отклонение активной мощности ΔP , выходным параметром являлось отклонение угловой скорости ротора $\Delta \omega$. Процедура идентификации выполнялась с использованием модели первого порядка. Для восстановления параметров применялись три варианта подпространственных методов: MOESP, N4SID и CVA. Независимо от используемого алгоритма полученные значения (табл.1) параметров существенно отличались от заданных в модели генератора, что свидетельствует о невозможности корректного выделения собственной механической динамики ротора при прямом использовании модели малого порядка [3]. При этом характер полученных результатов отличается непропорциональностью и нестабильностью, что говорит не об ошибке вычислительных процедур, а о принципиальной неприменимости прямой идентификации электромеханических параметров синхронного генератора в условиях влияния регуляторов.

Появление значительных отклонений объясняется тем, что при наличии контуров регулирования внешние управляющие воздействия компенсируют возмущения, формирующие динамический отклик системы. Это приводит к маскированию низкочастотной механической

составляющей и ограничивает возможность корректного восстановления параметров при использовании модели первого порядка.

Таблица 1 – Результаты идентификации для исходной схемы

Метод	Параметр	Расчётное значение параметра
MOESP	T_j	1232,157
	K_d	71,2013
N4SID	T_j	1227,855
	K_d	-108,726
CVA	T_j	1232,157
	K_d	71,2013

Повышение порядка модели не решает задачу идентификации электромеханических параметров, поскольку в этом случае они теряют однозначную физическую интерпретацию и не выделяются из общей структуры состояния.

Для исключения указанного влияния выполнена модификация схемы путем введения структурного блока усилителей (рис.2), включённого в ветвь между сигналом отклонения мощности ΔP и измеряемым откликом генератора. Данный блок реализует линейную модель механической динамики ротора, построенную на основе уравнения движения. На его выходе формируется сигнал $\Delta\omega$, характеризующий чистую механическую динамику ротора без влияния регуляторов, который далее используется как выходной сигнал в процедуре идентификации.

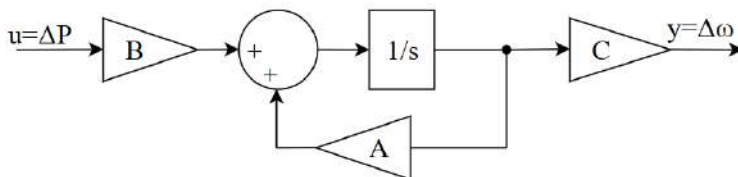


Рис.2 – Схема линейной механической модели синхронного генератора

Параметры усилителей заданы в соответствии с матричным представлением уравнений движения ротора:

$$x(t) = Ax(t) + Bu(t), y(t) = Cx(t), \quad (1)$$

где $x(t)$ - вектор состояния, A - матрица состояния, B - матрица управления, C - матрица наблюдения.

Матрицы системы имеют вид:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{K_d}{T_j} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{T_j} \end{bmatrix}, C = [0 \quad 1] \quad (2)$$

При исходных параметрах генератора ($T_j = 6,4$ с; $K_d = 0,005$ о.е.) результаты идентификации методом MOESP составили $T_j = 6,4008$ с; $K_d = 0,0051$ о.е., что соответствует высокой точности восстановления данных параметров. При изменении параметров генератора на $T_j = 6,6$ с; $K_d = 0,006$ о.е. без изменения коэффициентов в усилителях идентификация дала результат $T_j = 6,4016$ с; $K_d = 0,0053$ о.е. Аналогично, при задании параметров $T_j = 7,0$ с; $K_d = 0,007$ о.е. получены значения $T_j = 6,4022$ с; $K_d = 0,0057$ о.е.

Следует отметить, что при изменении параметров модели генератора при неизменных коэффициентах усилителей идентифицированные значения стремятся к параметрам, заданным в модели генератора. Отклонение результатов увеличивается по мере роста расхождения между параметрами реальной модели генератора и значениями, определёнными в усилителях. Таким образом, коэффициенты усилителей выполняют роль начального приближения.

На основании наблюдаемого поведения можно предположить, что использование рекурсивной версии подпространственного метода, который был описан в ряде работ [4,5]. Он позволяет обновлять коэффициенты усилителей в процессе идентификации, обеспечит постепенное приближение к действительным значениям T_j и K_d , установленным в модели генератора. Такой подход формирует основу адаптивного метода идентификации, при котором подпространственные алгоритмы участвуют в корректировке идентифицированных параметров.

Заключение. Проведённое исследование показало, что прямое применение подпространственных методов к модели синхронного генератора с регуляторами не позволяет корректно восстановить его электромеханические параметры. Введение блока усилителей, реализующего линейную механическую модель ротора, обеспечило выделение соответствующей динамики и позволило успешно выполнить идентификацию. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования подпространственных методов в составе адаптивного подхода к идентификации, при котором параметры могут уточняться в процессе работы системы.

Литература:

1. Soliman M., Westwick D., Malik O. P. Identification of Heffron–Phillips model parameters for synchronous generators operating in closed loop // IET Generation, Transmission & Distribution. – 2008. – Vol. 2, № 4. – P. 530–541.
2. Wang Z., Fan L., Miao Z. Data-Driven Dynamic Model Identification for Synchronous Generators // North American Power Symposium (NAPS), 2019.
3. Katayama T. Subspace methods for system identification. London: Springer, 2005. 346 p.
4. Karrari M., Malik O. P. Identification of a synchronous generator using subspace identification method // Proceedings of 17th Int. Power System Conf. (PSC), Tehran, Iran, 2002. – Vol. 5. – P. 13–20.
5. Mohammadi A. Small signal monitoring of power system using subspace system identification // Int. J. Elec. Power & Energy Systems. – 2013. – Vol. 47. – P. 175–182.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В СИСТЕМЕ БЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ ПОДПРОСТРАНСТВЕННЫМ МЕТОДОМ

Н. С. Плохотниченко, У. А. Акимова, А. А. Клименко
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, plohotnichenko.2021@stud.nstu.ru
Научный руководитель: Фролов М. Ю., к.т.н., доцент

В работе рассмотрен подход к идентификации электромеханических параметров синхронного генератора на основе применения подпространственного метода. Исследование выполнено на модели, исключаяющей влияние систем автоматического регулирования. Полученные результаты показали совпадение восстановленных параметров с исходными в пределах расчётной точности, что подтверждает применимость подпространственных методов для определения электромеханических характеристик синхронного генератора.

This paper examines an approach to identifying the electromechanical parameters of a synchronous generator based on the application of the MOESP subspace method. The study was carried out using a model excluding the influence of automatic control systems. The obtained results showed that the identified parameters matched the original ones within computational accuracy, confirming the applicability of subspace methods for determining the electromechanical characteristics of a synchronous generator.

Введение. Корректное определение электромеханических параметров синхронного генератора, таких как постоянная инерции

ротора T_j и коэффициент демпфирования K_d , является необходимым условием при построении достоверных моделей энергосистем, моделировании переходных процессов и оценке устойчивости энергосистем. Эти параметры определяют динамическое поведение генератора при переходных процессах, однако их прямое измерение затруднено, что обуславливает необходимость использования методов идентификации.

Классические подходы к идентификации параметров генератора основаны на оптимизации параметрической модели и требуют априорного задания структуры системы. Подпространственные методы, включая многопараметрический подпространственный метод идентификации по ошибке предсказания (MOESP), позволяют восстановить динамическую модель на основе входных и выходных данных без предварительного задания параметров, обеспечивая устойчивость к шумам и независимость от начальных приближений.

В ряде исследований [1,2] подпространственные методы применялись для определения электрических параметров синхронных генераторов. Однако идентификация электромеханических параметров ранее непосредственно не выполнялась. В настоящей работе рассматривается возможность применения метода MOESP для их восстановления на модели генератора без влияния систем регулирования.

Описание исследуемой системы. Исследование проводилось на цифровой модели синхронного генератора, реализованной в среде MATLAB/Simulink. В качестве объекта моделирования использована стандартная модель синхронной машины номинальной мощностью 200 МВА и номинальным напряжением 13,8 кВ, работающей в составе энергосистемы (рисунок 1). В модели генератора были заданы следующие значения электромеханических параметров: $T_j = 6,4$ с, $K_d = 0,05$ о.е.

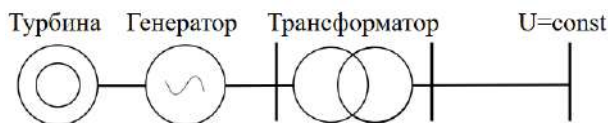


Рис.1 – Схема исследуемой системы

Следует отметить, что в реальных условиях генератор функционирует совместно с системами автоматического регулирования. Однако в рамках поставленной задачи исследуемая модель не включала контуры регулирования. Это позволило исключить возможное влияние

корректирующих воздействий и выделить собственную механическую динамику ротора.

Описание применяемой методики. Математическая модель механической динамики ротора синхронного генератора формируется на основе классического уравнения движения ротора [3]:

$$\frac{1}{\omega_0} T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} + K_d \frac{d\delta}{dt} = \Delta P = P_{\text{мех}} - P_{\text{эм}}, \quad (1)$$

где δ — угол ротора относительно синхронного поля, ω_0 - синхронная угловая скорость, T_j - постоянная инерции ротора, K_d - коэффициент демпфирования, $P_{\text{мех}}$ — механическая мощность турбины, $P_{\text{эм}}$ — электрическая мощность на шинах генератора.

Уравнение движения ротора будет использоваться в виде:

$$T_j \frac{d\omega}{dt} + K_d \omega = \Delta P \quad (2)$$

Применяемый в работе подпространственный метод основан на представлении динамического объекта в виде модели в пространстве состояний, что обеспечивает восстановление системы по входным и выходным временным данным без априорного знания её структуры. Согласно общепринятой методологии [4] подпространственных методов, система записывается в виде:

$$x(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t), \quad (3)$$

где $x(t)$ - вектор состояния, $u(t) = \Delta P(t)$ - входной сигнал, $y(t) = \Delta \omega(t)$ - выходной сигнал, A – матрица состояния, B – матрица управления, C – матрица наблюдения.

Порядок модели при идентификации был установлен равным единице. Тогда матрицы системы имеют вид:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{K_d}{T_j} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{T_j} \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 1] \quad (4)$$

В результате применения подпространственного метода восстанавливается динамическая модель, представляемая в виде передаточной функции первого порядка:

$$G(s) = \frac{1}{T_j s + K_d} = \frac{K}{s + a}, \quad (5)$$

где K - коэффициент усиления, отражающий чувствительность ротора к изменению мощности, a - параметр, характеризующий скорость затухания механической динамики, s - комплексная переменная преобразования Лапласа.

Электромеханические параметры генератора определяются сопоставлением двух форм передаточной функции, представленных в (5):

$$T_j = \frac{1}{K}, \quad K_d = \frac{a}{K} \quad (6)$$

Результаты. Результаты идентификации электромеханических параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета

Параметр	Заданное значение параметра	Расчётное значение параметра	Относительная погрешность, %
T_j	6,4	6,388	0,27
K_d	0,005	0,0052	4

Отклонение восстановленных значений от исходных не превышает допустимого уровня расчётной погрешности, что подтверждает корректность выделения механической динамики ротора.

Небольшое расхождение между установленными в модели и идентифицированными параметрами связано с упрощением структуры динамической модели и ограничением порядка системы до единицы, что является допустимым при малосигнальном воздействии. Восстановленные значения удовлетворительно согласуются с исходными и демонстрируют применимость метода в рассматриваемых условиях.

Заключение. Проведённая идентификация электромеханических параметров синхронного генератора методом MOESP на модели, исключаяющей влияние систем автоматического регулирования, продемонстрировала совпадение восстановленных значений с исходными в пределах расчётной точности. Полученные результаты позволяют подтвердить применимость подпространственных методов для определения электромеханических характеристик синхронного генератора и предположить потенциальную реализуемость методики при использовании более сложных структур модели.

Литература:

1. Wu B., Zhao P., Malik O. Identification of a State Space Model for a Synchronous Machine // Proceedings of the 16th IFAC World Congress. Prague, 2005. P. 262–267.
2. Тащилин В. А. Анализ и выбор параметров стабилизации устройств регулирования возбуждения с использованием методов идентификации: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: УрФУ, 2018. 139 с.
3. Куликов Ю. А. Переходные процессы в электрических системах: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 283 с.
4. Katayama T. Subspace methods for system identification. London: Springer, 2005. 346 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ НЕФТЕДОБЫЧИ

Ю. А. Поляченко, К. В. Шлегель, Д. В. Лазарев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, polyachenko.yu@gmail.ru, kirillus4life@gmail.com
Научный руководитель: Русина А. Г., д.т.н., доцент**

Нефтедобыча – это сложный производственный и технологический процесс, состоящий из систематических шагов, начиная от геологической разведки, изучения месторождений и заканчивая подготовкой нефти к транспортировке. Каждый этап тесно связан с энергопотреблением, поэтому вопросы оптимального использования ресурсов являются важными. В данной статье рассматриваются ключевые стадии процесса нефтедобычи и исследуются модели перспективных нагрузок оборудования и установок, участвующих в каждом процессе.

Oil production is a complex production and technological process consisting of systematic steps, starting from geological exploration, exploration of deposits and ending with the preparation of oil for transportation. Each stage is closely related to energy consumption, so the optimal use of resources is important. This article examines the key stages of the oil production process and examines models of prospective loads of equipment and installations involved in each process.

Нефть является одним из самых востребованных энергоресурсов современности, она обеспечивает потребности разных сфер. Но ее добыча тесно связана с рядом технологических процессов, требующих современных технологий, крупных инвестиций и большого объема электроэнергии. С развитием технологий методы нефтедобычи становятся всё более эффективными и менее энергоёмкими. В данной

статье описаны основные этапы нефтедобычи, их традиционные и современные модели нагрузок.

Модели нагрузок в нефтедобыче представляют собой инструменты (аналитические, программные и математические), описывающие и прогнозирующие объемы и характер потребления различных ресурсов на всех этапах добычи нефти.

Первым этапом являются геологоразведочные работы – это основополагающий этап, заключающийся в поиске потенциально перспективных участков залежей нефти. На данной стадии используются такие методы как сейсморазведка, гравиметрия, магнитометрия и геохимические методы для выявления пластов, содержащих нефть. После проведения расчетов и предварительной оценки участка проводится более детальное сканирование территории и пласта, включая бурение разведочных скважин. Бурение разведочных скважин является энергоемким процессом, для питания буровой установки могут быть использованы три типа питающих устройств, а именно: дизельные генераторы, двигатели внутреннего сгорания буровых установок или питание от линии электропередач [1]. Современные геологоразведочные работы проводят с применением нового метода, такого как сейсмический мониторинг с использованием специализированных программ, например «4D-сейсморазведка» [2].

Данный метод мониторинга визуализирует модель пласта, что позволяет производить меньшее количество сканирующих бурений. Использование данной модели позволяет точнее определить требуемые параметры бура и глубины бурения, что позволяет оптимизировать энергопотребление установки.

После успешных проведенных геологоразведочных работ и подтверждения промышленной ценности месторождения – начинается его освоение и разработка. Определяются расположение и количество скважин, а также определяется технология бурения (горизонтальное, вертикальное и т.п.). На основе этих данных производится расчет требуемой мощности и потребляемой электроэнергии, подбирается вариант энергоснабжения и проводится анализ эффективности версий проекта. Основываясь на результате, принимается решение о строительстве собственной станции на газу или заключении договора с сетевой компанией и строительстве линии электропередач и традиционной или мобильной подстанции.

Бурение, как описано выше, может получать питание от одного из трех источников. В основном питание осуществляется от дизельных генераторов, реже от понижающих подстанций.

Применение технологий цифровых двойников и внедрение 3D/4D моделей [3], а также использование искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет дать точный результат по целесообразности преждевременного строительства подстанции для питания буровой установки [4], так как использование электричества с понижающей подстанции в перспективе выгоднее, чем использование дизельных генераторов с последующим переходом на питание от линии электропередач. Модели цифровых двойников в бурении также могут подключаться к буровым установкам с машинным интеллектом, который автоматически корректирует направление бура, что снижает затраты электроэнергии.

Следующим этапом является разработка нефтяного месторождения – это этап, при котором происходит процесс извлечения нефти с учетом максимальной эффективности и рентабельности.

По данным «Газпром нефть» на 2015 год 94% нефти извлекается с использованием УЭЦН — это установка электроцентробежного насоса, в то время как применение установки штанговых глубинных насосов сократилось. Данный рост использования УЭЦН связан с высокой производительностью при эксплуатации, а также меньшее время простоя, связанное с большим межремонтным периодом [5]. Данная установка в настоящее время также используется на подавляющем большинстве месторождений.

Для определения активной мощности, потребляемой УЭЦН можно использовать формулу (1):

$$P_y = \frac{(P_d + \Delta P_k)}{\eta_{тр} \cdot \eta_{су} \cdot \eta_{фв} \cdot \eta_{фс}}, \quad (1)$$

где P_d – активная мощность, потребляемая электродвигателем, кВт; ΔP_k – потери активной мощности в кабельной линии, кВт; $\eta_{тр}$ – фактический КПД трансформатора; $\eta_{су}$ – фактический КПД станции управления; $\eta_{фв}$ – фактический КПД выходного фильтра; $\eta_{фс}$ – фактический КПД сетевого фильтра [6].

Данная формула необходима для определения активной мощности заблаговременно, для заключения договора поставки электропитания сетевой компанией, можно использовать данные, собранные с похожих объектов. Например, опыт применения УЭЦН с 2015 года позволяет собрать большую базу данных об эксплуатации, ремонтах и затратах электроэнергии на нефтедобычу. Имеющуюся базу данных в перспективе можно интегрировать в программу на основе машинного обучения для анализа и вывода результатов будущей эксплуатации на текущих или перспективных месторождениях с учетом издержек и возможных

отрицательных сценариев (увеличенное количество поломок, высокая стоимость электроэнергии) [4].

На основе полученных данных можно сделать вывод о правильности ручных расчетов и корректировать электропотребление для перспективных мест добычи. Анализ данных с ранее освоенных месторождений позволит точнее прогнозировать график нагрузки для сокращения затрат на электроэнергию.

Многие ведущие компании нефтегазовой отрасли применяют в работе технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. Например, создание программного модуля «Управление разработкой зрелых месторождений с применением нейронных сетей» для уменьшения операционных затрат на нефтяных месторождениях после прохождения пика добычи [7], внедрение технологий мониторинга энергопотребления оборудования «Способ мониторинга энергопотребления оборудования для добычи нефти и газа» [8].

В настоящее время в «Газпром нефть» разрабатывается методика расчета перспективных нагрузок для существующих и новых месторождений на языке Python. Программа будет автоматизировать расчет и увеличит точность прогнозируемого графика нагрузки.

Несмотря на то, что нефтедобыча является энергоемким процессом, исследование моделей перспективных нагрузок и переход к современным методам позволяет точно оценивать риски и максимально эффективно управлять нефтяными месторождениями.

Литература:

1. Поздеев А. П. Поиски разведка нефтяных и газовых месторождений [Электронный ресурс] // Инновационная наука. №8-2. – 2021. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poiski-i-razvedka-neftyanyh-i-gazovyh-mestorozhdeniy/viewer> (дата обращения: 01.12.2025).
2. Кузнецов, В. И. Оценка 4D-эффектов по результатам повторной сейсмической съемки 3D в пределах газоконденсатного месторождения [Электронный ресурс] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — № 6. – 2024. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-4d-effektov-po-rezultatam-povtornoy-seismicheskoy-semki-3d-v-predelah-gazokondensatnogo-mestorozhdeniya/viewer> (дата обращения: 04.12.2025).
3. Быкова В. Н., Ким Е., Гаджиалиев М. Р., Мусиенко В. О., Оруджев А.О., Туровская Е. А. Применение цифрового двойника в нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы нефти и газа. – Вып. 1(28). – 2020. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tsifrovogo-dvoynika-v-neftegazovoy-otrasli/viewer> (дата обращения: 21.11.2025).

4. Рустамов А. Р., Пеньков Г. М., Петраков Д. Г., Рустамова М. А. Современные методы применения машинного обучения как инструмента прогнозирования добычи нефти [Электронный ресурс] // Недропользование. – 2024. – Т.24, №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-primeneniya-mashinnogo-obucheniya-kak-instrumenta-prognozirovaniya-dobychi-nefti/viewer> (дата обращения: 01.12.2025).

5. Горлов И. В., Лунькова Л. Г., Мельников Г. С. Современное состояние и перспективы использования способов добычи нефти [Электронный ресурс] // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований – 2020. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-ispolzovaniya-sposobov-dobychi-nefti/viewer> (дата обращения: 02.12.2025).

6. Гинзбург М. Я., Павленко В. И., Климов В. П. Об энергетических показателях УЭЦН [Электронный ресурс] // Инженерная практика. - №8. – 2010. – URL: <https://lukoil-cpu.ru/page/itc-ob-energeticheskikh-pokazatelyakh-uecn> (дата обращения: 04.12.2025).

7. Лукойл-технологии улучшают управление разработкой зрелых месторождений с применением нейронных сетей [Электронный ресурс] // ЛУКОЙЛ-Технологии – 2020. – URL: <https://technologies.lukoil.ru/ru/News/News/lukoil-tehnologii-uluchshaiut-upravlenie-razrabotkoi> (дата обращения: 04.12.2025).

8. «Роснефть» повышает эффективность добычи с помощью цифровых технологий [Электронный ресурс] // Роснефть. Пресс-центр. – 2023. – URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/215767/> (дата обращения: 24.11.2025).

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОСЛЕАВАРИЙНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЧАУН-БИЛИБИНСКОГО ЭНЕРГОУЗЛА С НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

А. Ю. Старостин, Р. А. Зарипов, Д. А. Большаков
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, andreysy357@gmail.com
Научный руководитель: Зырянов В. М., к.т.н., с.н.с.

В статье рассматривается применение быстродействующей системы накопления энергии и алгоритма её управления по данным синхронизированных векторных измерений для повышения динамической устойчивости Чаун-Билибинского энергоузла при самоустраняющихся КЗ на ВЛ 110 кВ.

The paper investigates the application of a fast-acting energy storage system and a control algorithm driven by synchrophasor measurements to enhance the transient stability of the Chaun–Bilibino power hub during self-clearing faults on 110-kV overhead transmission lines.

Чаун-Билибинский энергоузел (ЧБЭ) – изолированная энергосистема с единственной в мире плавучей атомной теплоэлектростанцией (ПАТЭС) «Академик Ломоносов». ЧБЭ состоит из двух основных узлов соизмеримой мощности (Билибино и Певек), соединённых между собой двумя одноцепными воздушными линиями (ВЛ) 110 кВ, общая протяженность которых более 480 км. Из-за суровых климатических условий ЧБЭ повышается вероятность аварий в том числе и самоустранившихся КЗ, из-за чего особенно остро стоит задача обеспечения динамической устойчивости энергоузла. Кроме того, задача осложняется резкопеременным характером нагрузки, обусловленным работой предприятий горнодобывающей промышленности.

Для повышения эффективности и надежности работы энергосистемы среди прочих рассматривается вариант установки в ЧБЭ системы накопления энергии (СНЭ) для замещения вращающегося резерва на дизельной электростанции (ДЭС) в Билибино и комплексного решения таких задач, как стабилизация частоты и напряжения, сглаживание резкопеременной нагрузки (что особо актуально для автономных энергосистем). Дополнительно к этим задачам в работе предлагается, учитывая малое время отклика СНЭ (не более 5 мс) [1], использовать её для повышения динамической устойчивости ЧБЭ.

Для этого предлагается применить способ точной синхронизации в цикле АПВ при самоустраняющихся КЗ на ВЛ, предложенный в [2]. Следует также учитывать сохранение электрической связи между двумя станциями, то есть наличие перетока мощности по оставшейся в работе линии. В этом случае активная мощность СНЭ должна изменяться по выражению (1):

$$P_y(t) = P_T(t) - P_n(t) - P_L(t) + \frac{4T_{j3}s(t)}{t_{АПВ} - t} + \frac{6T_{j3}\Delta\delta(t)}{(t_{АПВ} - t)^2}, \quad (1)$$

где $P_y(t)$ – активная мощность СНЭ (мощность управления); $P_T(t)$ – механическая мощность приводного двигателя генераторного агрегата; $P_n(t)$ – мощность собственной нагрузки генератора без учета мощности СНЭ; $P_L(t)$ – активная мощность, отдаваемая в приемную систему по оставшейся в работе цепи; T_{j3} – эквивалентная механическая постоянная времени энергосистемы; $\Delta\delta(t)$ – текущее значение выбега угла ротора генератора; $s(t)$ – текущее значение скольжения (скорость изменения

выбега угла ротора генератора); $t_{\text{АПВ}}$ – время бестоковой паузы АПВ (время управления); t – текущее время управления, отсчитываемое с начального момента подачи управляющего сигнала на СНЭ (начала бестоковой паузы АПВ).

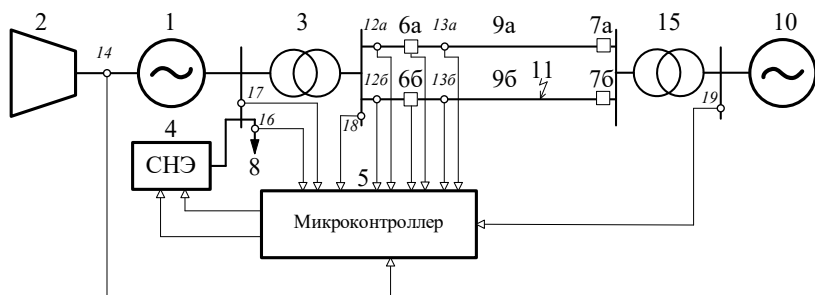


Рис. 1 – Схема подачи сигналов в микроконтроллер при работе двух электростанций соизмеримой мощности

Схема реализации способа показана на рис. 1, где используются следующие обозначения: электростанции соизмеримой мощности (1, 10), приводной двигатель (2), трансформаторы (3, 15), система накопления электрической энергии (4), микроконтроллер (5), выключатели (6а, 6б, 7а, 7б), нагрузка (8), две цепи электропередачи (9а, 9б), точка короткого замыкания (11), датчики мощности линий электропередачи (12а, 12б), датчики напряжения (13а, 13б, 17, 18, 19), датчик механической мощности (14), датчик мощности нагрузки (16). Выбег взаимного угла электропередачи и скорость его изменения (скольжение) рассчитывается микроконтроллером 5 по замерам векторов напряжений с шин генераторов, полученных с датчиков (17) и (19) с привлечением технологии СВИ.

В рассматриваемой схеме применение УСВИ обусловлено необходимостью получения синхронизированных измерений по обоим концам линии. Для корректной работы используются УСВИ класса Р согласно ГОСТ Р 59365-2021; формируемые СВИ передаются в концентратор синхронизированных векторных данных по протоколу С37.118.2, выравнивание по меткам времени и агрегирование, после чего данные поступают в микроконтроллер [3]. Для минимизации задержек и джиттера передающая сеть строится на базе IP/MPLS с резервированием и QoS, для транспортировки используется протокол UDP. Практическая реализуемость подобной архитектуры подтверждается опубликованными материалами Системного оператора, диссертационными исследованиями, по применению СВИ для задач

релейной защиты и распознавания асинхронных режимов и централизованной защиты дальнего резервирования [4, 5, 6].

Для подтверждения эффективности предложенного способа повышения динамической устойчивости ЧБЭ составлена эквивалентная двухмашинная схема (рис. 2) – в Билибино сосредоточена значительная промышленная нагрузка и ДЭС (25 МВт), а в Певеке – ПАТЭС (70 МВт) и Арктическая ТЭС (50 МВт). Номинальная мощность СНЭ принята равной мощности ДЭС 25 МВт. Математические модели эквивалентных генераторных агрегатов приёмной и передающей части энергосистемы дополнены моделями автоматических систем регулирования скорости и возбуждения (АРС, АРВ) с типовыми характеристиками.

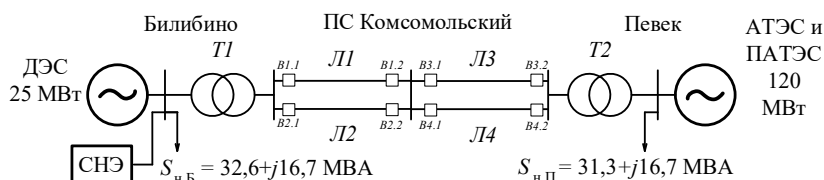


Рис. 2 – Двухмашинная эквивалентная схема энергосистемы ЧБЭ

Расчёты переходных процессов в этой схеме проводились в ПВК *MATLAB Simulink*. Рассмотрены три сценария развития аварийных ситуаций, происходящих в энергосистеме при самоустраняющихся коротких замыканиях (однофазное, двухфазное и трехфазное КЗ; длительность КЗ – 0,18 с) на воздушной линии Л2 с последующим автоматическим повторным включением (время бестоковой паузы АПВ – 1 с). В каждом из них рассчитывались два варианта: без участия СНЭ и с участием СНЭ в управлении переходным процессом.

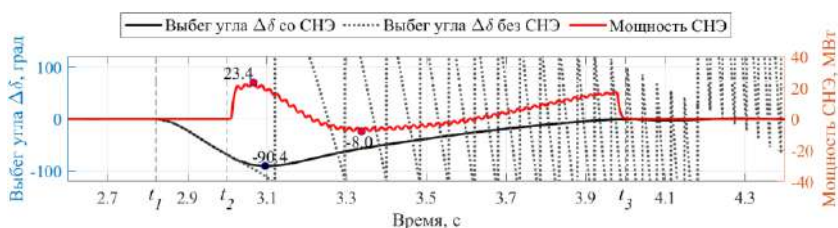


Рис. 3 – Переходный процесс при однофазном КЗ на Л2

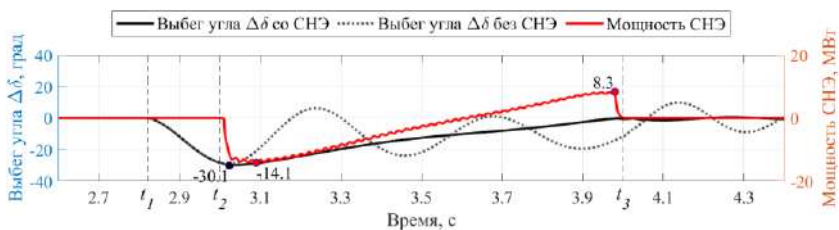


Рис. 4 – Переходный процесс при двухфазном КЗ на Л2

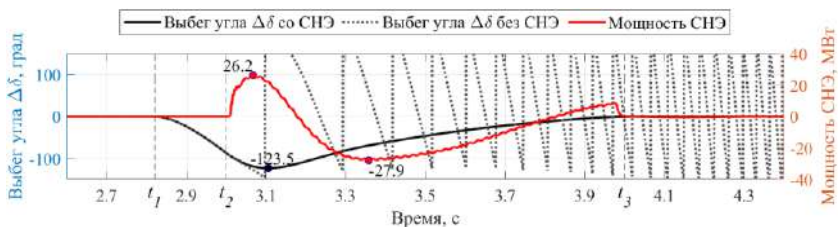


Рис. 5 – Переходный процесс при трехфазном КЗ на Л2

Результаты расчётов показали, что при реализации предложенного алгоритма управления СНЭ во всех рассмотренных сценариях обеспечивается динамическая устойчивость энергосистемы (рис.3, 5) или (для более лёгких возмущений) кардинальное улучшение качества переходных процессов (рис. 4). Обозначения на временной диаграмме: t_1 – момент возникновения КЗ (2,82 с); t_2 – отключение линии (3 с); t_3 – успешное срабатывание АПВ (4 с).

Реализация управления быстродействующей СНЭ в бестоковую паузу АПВ ВЛ в Чаун-Билибинском энергоузле по разработанному алгоритму с использованием СВИ обеспечивает достижение точной синхронизации электростанций в пределах бестоковой паузы АПВ и исключает возникновение послеварийных колебаний режима. Предложенный алгоритм может быть распространён на любые «двухмашинные» энергосистемы, в составе которых предусмотрена система накопления энергии.

Литература:

1. Пранкевич Г. А. Разработка математической модели и методики выбора параметров накопителя энергии как элемента энергосистемы: дис. ... канд. техн. наук 05.14.02 / Пранкевич Г.А. – Нск., 2021. – 159 С.
2. Патент № 2845618 Российская Федерация, МПК Н 02 J 3/42, Н 02 Н 3/06. Способ точной синхронизации аварийно отделившегося генератора с энергосистемой на основе накопителя энергии: № 2024137182: заявл.

11.12.2024: опубл. 25.08.2025 / Зырянов В.М., Кирьянова Н.Г., Пранкевич Г. А. – 13 С.

3. ГОСТ Р 59365-2021 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Система мониторинга переходных режимов. Устройства синхронизированных векторных измерений. Нормы и требования (Издан 26 апреля 2021 г., вступил в силу 1 мая 2021 г.)

4. СТО 59012820.29.020.001-2019 Релейная защита и автоматика. Система мониторинга переходных режимов. Нормы и требования (Издан 2019 г.)

5. Елкин С. В. Совершенствование методов выявления асинхронного режима работы электроэнергетической системы с применением устройств синхронизированных векторных измерений: дис. канд. техн. наук: 2.4.3. - М., 2022. - 147 с.

6. Шендер С. Е. Централизованная защита дальнего резервирования в электрической сети на основе синхронизированных векторных измерений: дис. канд. техн. наук: 2.4.3. - Екатеринбург, 2024. - 127 с.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА ЭНЕРГОСИСТЕМУ И РАССМОТРЕНИЕ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С НИМИ

В. Е. Чашин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, chashin123456789@mail.ru**

Научный руководитель: Шевцов Д. Е., к.т.н., доцент

Рассмотрены проблемы влияния высших гармоник на системы электроснабжения горнодобывающих предприятий. Проанализированы основные методы борьбы с гармоническими искажениями, их преимущества и недостатки. Сделан вывод о необходимости стратегического подхода к выбору мер фильтрации для повышения надежности и энергоэффективности.

The problems of the influence of higher harmonics on the power supply systems of mining enterprises are considered. The main methods of combating harmonic distortions, their advantages and disadvantages are analyzed. It is concluded that a strategic approach to the selection of filtering measures is necessary to improve reliability and energy efficiency.

Сети электроснабжения современных горных предприятий подвержены значительным гармоническим искажениям напряжения [2]. Наложение высших гармоник деформирует идеальную синусоиду напряжения, создавая в сети паразитные процессы, которые пагубно

влияют на общее качество электроэнергии [2]. Основным источником несинусоидальности напряжения является массовое использование нелинейного оборудования [1]. В данной исследовательской работе были рассмотрены негативные факторы, вызываемые высшими гармониками и как следствие методы борьбы с ними.

Электромагнитная совместимость на горном предприятии является критически важным фактором. С 2014 года качество электроэнергии в Российской Федерации регулируется стандартом ГОСТ 32144-2013, который определяет все ключевые показатели качества электроэнергии, включая гармонические искажения напряжения [5]. В России особую остроту проблема гармоник приобрела в условиях активного развития горнодобывающего сектора и массового внедрения частотно-регулируемого электропривода, мощных выпрямительных установок, систем плавного пуска и другого нелинейного оборудования, генерирующего высшие гармоники [1]. Рост уровня гармонических искажений напрямую влияет на энергоэффективность, надежность электроснабжения и срок службы дорогостоящего оборудования горных предприятий [4]. Основные негативные последствия от искажения синусоидальной формы питающего напряжения представлены на рисунке 1.

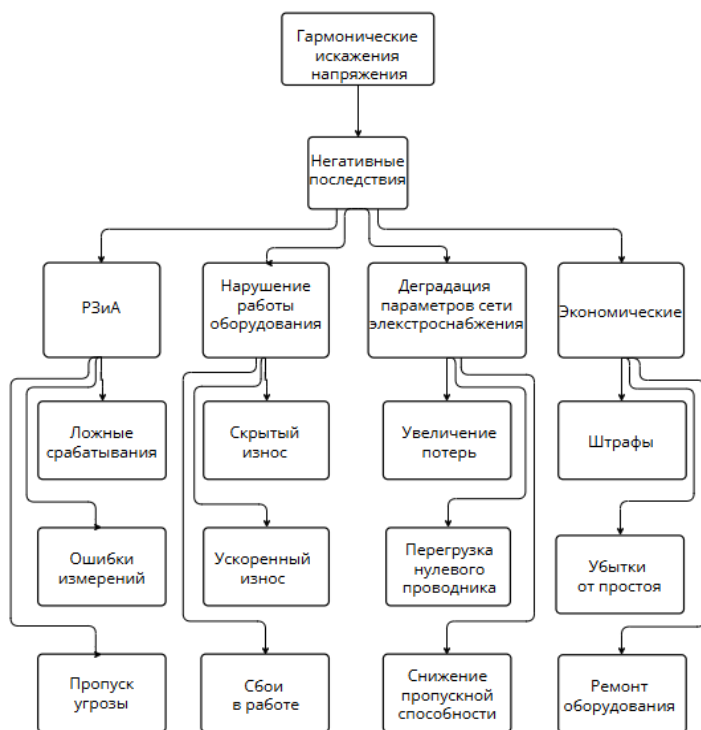


Рис. 1 – Негативные факторы вызванные гармоническим искажением напряжения

Для современной электроэнергетики сформировался комплекс эффективных решений для нейтрализации высших гармоник [6]. Существующие методы показывают вариативный подход к решению проблемы: от традиционных пассивных схем до интеллектуальных адаптивных систем. Данные решения различаются не только по принципу действия, но и по таким ключевым параметрам, как стоимость внедрения, диапазон подавляемых гармоник, способность к компенсации реактивной мощности. Ключевой вектор развития современных энергосистем заключается в последовательном переходе от пассивной борьбы с последствиями гармонических искажений к активному предотвращению генерации высших гармоник на стадии проектирования электрооборудования [3]. Для улучшения формы кривой напряжения применяются следующие методы и устройства, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Методы борьбы с высшими гармониками

Метод борьбы	Преимущества	Недостатки
Пассивные фильтры	Дешевый, высокая надежность за счет простой конструкции, высокая эффективность, компенсация реактивной мощности.	Настроен на определенные гармоники, риск появления резонанса, может вызвать перенапряжение в сети.
Активные фильтры	Универсальный, подстраивается под изменения сети и нагрузки, не создает резонанс с сетью, компенсация реактивной мощности.	Дорогой, сложная конструкция, ограниченная мощность.
Гибридные фильтры	Оптимальное значение цены к качеству.	Сложная конструкция, требует точного расчета для корректной работы.
Многоимпульсные преобразователи	Устраняют гармоники на этапе их создания, высокая надежность за счет простоты конструкции преобразователя, высокая энергоэффективность.	Высокая стоимость.
Снижение сопротивления сети	Воздействует на все гармоники, улучшает другие параметры качества электроэнергии, простота реализации.	Высокая стоимость, снижает высшие гармоники напряжения, а не тока.
Разнесения нелинейных нагрузок по времени работы	Экономично, простота внедрения, уменьшение доли гармонических составляющих в кривой тока.	Снижение производительности, не применимо для непрерывных процессов.
Разделение нелинейных нагрузок на разные группы	Локализация гармоник, снижение общего уровня искажения, грамотное распределение ресурсов, повышение надежности	Большие затраты на этапе проектирования, сложность модернизации, не устраняет гармоники.
Преобразователи с широкой полосой пропускания	Высокий КПД, улучшенное подавление гармоник, надежная работа при экстремально высоких температурах.	Высокая стоимость, сложные требования к ЭМС, требует апробации.

Проведенный анализ литературных источников позволяет сделать вывод о том, что гармонические искажения напряжения представляют собой комплексную проблему, к ухудшению функционирования систем

электрообеспечения горнодобывающих предприятий. В настоящее время существует значительное разнообразие мероприятий по подавлению высших гармоник, выбор определенного мероприятия требует проведения исследования для конкретного предприятия.

Литература:

1. Егоров А. Н., Харитонов Я. С., Шевчук В. А., Семёнов А. С. Оценка влияния высших гармоник на работу систем частотно-регулируемого электропривода в условиях горнодобывающих предприятий. – С. 138–140.

2. Плотников С. В., Барановская Е. Н. Гармонические искажения форм кривых токов и напряжений в сетях рудников // Вестник Норильского государственного индустриального института. – 2017. – Вып. 13. – С. 106–115.

3. Антонов А. И., Руди Д. Ю. Применение активных и пассивных фильтрокомпенсирующих устройств для снижения негативных воздействий гармонических искажений [Электронный ресурс] // Вестник Югорского государственного университета. – 2024. – Т. 20, № 1. – С. 118–125. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54441970> (дата обращения: 09.11.2025). – doi: 10.18822/byusu20240118-125.

4. Кузнецов Н. М., Бебихов Ю. В., Самсонов А. В., Егоров А. Н., Семенов А. С. Качество электрической энергии горных предприятий: монография. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2012. – 68 с. – ISBN 978-5-91327-175-4.

5. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 28 с. – URL: <https://electromontaj-proekt.ru/data/documents/gost-32144-2013.pdf> (дата обращения: 27.10.2025).

6. Шилов В. В. Компенсация высших гармоник в системах электроснабжения с нелинейными нагрузками // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – № 4. – С. 34–40. – URL: <https://reader.lanbook.com/journalArticle/636617#1> (дата обращения: 07.11.2025).

Секция РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА,
ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ОТРАБОТАННОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА
С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА**

Д. С. Ведерников

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, vedernikovnstu@yandex.ru

Научный руководитель: Ридель А. В., к.т.н., доцент

В работе представлены результаты экспериментального исследования по восстановлению электроизоляционных свойств отработанного трансформаторного масла методом модификации наночастицами диоксида титана. Разработана методика приготовления стабильных наножидкостей, включающая ультразвуковое диспергирование и применение поверхностно-активных веществ (ПАВ). Эмпирически установлено оптимальное соотношение компонентов: концентрация TiO_2 0,1 г/л и ПАВ Тритон-Х в соотношении 1:7. Показано, что модифицированные пробы масла демонстрируют более высокую и стабильную электрическую прочность по сравнению с очищенным маслом без добавок, а также повышенную устойчивость к агломерации.

The paper presents the results of an experimental study on the restoration of the electrical insulating properties of spent transformer oil by modification with titanium dioxide nanoparticles. A method for the preparation of stable nanofluids has been developed, including ultrasonic dispersion and the use of surfactants. The optimal ratio of the components has been empirically established: the concentration of TiO_2 0.1 g/l and surfactant Triton-X in a ratio of 1:7. It is shown that the modified oil samples demonstrate higher and more stable electrical strength compared to purified oil without additives, as well as increased resistance to agglomeration.

Введение. В настоящее время большое распространение получили исследования в сфере изучения влияния нанодобавок на свойства различных материалов. Так, в качестве модифицирующих добавок к маслам активно исследуются углеродные нанотрубки и наноксиды металлов [1]. Результаты актуальных исследований демонстрируют улучшение теплопроводности наномасла по сравнению с исходным маслом без наночастиц [2-3].

Однако, несмотря на улучшение электрофизических свойств наномасел, не существует унифицированной методики приготовления стабильных образцов, которая позволила бы закрепить положительный

эффект. Несмотря на противоречивость опубликованных данных по электрической прочности наножидкостей в целом, для систем на основе оксидов металлов прослеживается более явная закономерность. Проведенные исследования свидетельствуют о статистически значимом росте напряжения пробоя масел, модифицированных наночастицами, в сравнении с их исходным состоянием [4-5].

Целью данной работы является получение стабильного образца с восстановленными электрофизическими свойствами отработанного трансформаторного масла.

Методика подготовки наножидкости.

Для исследований использовалось масло в объеме 800 мл. Предварительно масло фильтровалось с использованием стекловолоконного фильтра с размером пор 1 мкм, который помещался на дно чашки Бюхнера, она, в свою очередь, устанавливалась в колбу Бунзена и под разряжением создаваемым вакуумным насосом происходил процесс фильтрации. Для контроля чистоты образца использовался прибор АЗЖ-975.

Далее подготовленное отработанное масло заливалось в мерную колбу. После этого в нее добавлялась заранее взвешенная на аналитических весах Analytical Balance ME204/A порция наночастиц TiO_2 равная 0,1 г/л, а также различные ПАВ в определенных концентрациях. Затем мерная колба устанавливалась в ячейку, предназначенную для охлаждения масла в процессе диспергирования. Ячейка, в свою очередь, устанавливалась на магнитную мешалку для равномерного перемешивания наночастиц и ПАВ по всему объему масла в процессе диспергирования. После включения магнитной мешалки и запуска системы охлаждения в объем подготавливаемой пробы масла помещался волновод ультразвукового диспергатора. Далее запускался процесс диспергирования пробы. Мощность ультразвукового диспергатора марки “Волна М” была экспериментально подобрана в ходе работы и составляла 700 Вт, время воздействия составляло 10 минут.

После окончания диспергирования мерная колба изымалась из ячейки охлаждения и смесь масла с наночастицами разливалась в кюветы объемом 400 мл. Далее кюветы с модифицированным маслом помещались в дегазационную камеру на 30 минут при разряжении 0,03 мбар. Разряжение создавалось вакуумным насосом Vacuumbrand Rz 6. После дегазации кювета с дегазированным модифицированным трансформаторным маслом устанавливалась в установку по измерению напряжения пробоя жидкостей.

Методика проведения измерений стабильности.

Часть подготовленного образца по окончанию диспергирования разливалась в цилиндры объемом 250 мл.

Для фиксации стабильности проб производился отбор наномасла шприцом на глубине около 5 см от зеркала жидкости в объеме 5 мл, которое разливалось по кюветам фотоколориметра КФК-2 с длиной оптического пути 10,085 мм для замера светопропускаемости на различных длинах волн. Измерения проводились в течении 25 дней или до момента достижения светопропускаемости пробы выше 65%, строго во время, когда проба была приготовлена.

Результаты исследований. Результаты измерения напряжения пробой проб трансформаторного масла представлена на Рисунке 1.

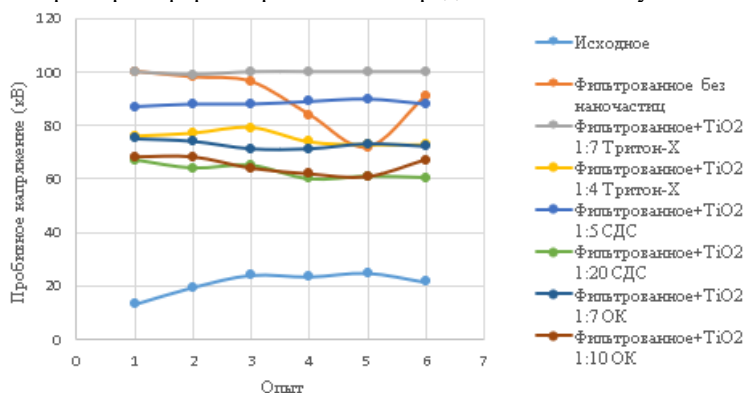


Рис. 1 – Электрическая прочность образцов отработанного трансформаторного масла

Результаты измерения светопропускаемости проб трансформаторного масла с наночастицами оксида титана с различными поверхностно активными веществами представлена на Рисунке 2.

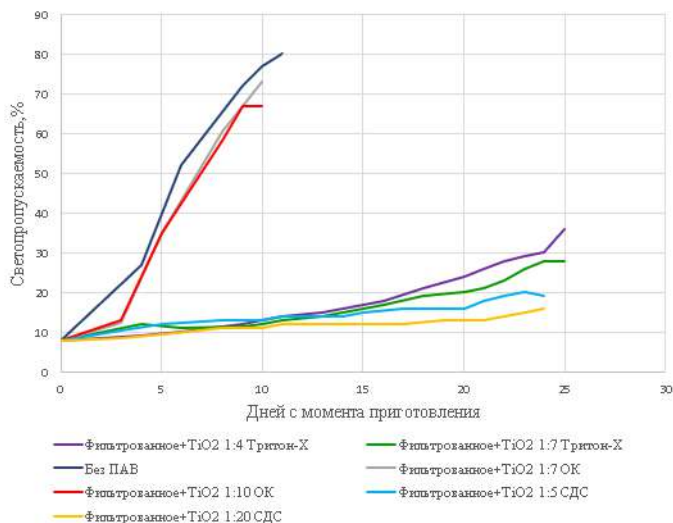


Рис. 2 – Динамика изменения светопропускаемости проб с частицами TiO_2 и различными поверхностно-активными веществами.

По результатам исследования была разработана методика приготовления наносмеси на основе отработанного трансформаторного масла. Из представленных данных можно свидетельствовать о том, что фильтрация образцов позволила увеличить напряжение пробоя, однако полученные значения в серии опытов не являются стабильными, так как разброс электрической прочности составляет 10 кВ. Пробы с применением наночастиц диоксида титана проявляют более устойчивые результаты. Выявлены оптимальные соотношения наночастиц TiO_2 и различных поверхностно-активных веществ.

Закключение. В ходе исследования была разработана унифицированная методика приготовления стабильных образцов наносмеси на основе отработанного трансформаторного масла.

Эмпирически определены оптимальные соотношения поверхностно-активных веществ и наночастиц диоксида титана.

Показано, что наиболее значимых результатов удалось добиться с применением наночастиц TiO_2 в концентрации 0,1 г/л и Тритон-Х в соотношении 1:7.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10198, <https://rscf.ru/project/22-79-10198/>

Литература:

1. Taheri A. A. et al. Investigation of mineral oil-based nanofluids effect on oil temperature reduction and loading capacity increment of distribution transformers //Energy Reports. 2021, vol. 7, pp. 4325-4334.
2. Aravind S. S. et al. Thermophysical and Electrical Properties of MnO₂ and TiO₂ Nanotubes Dispersed Transformer Oil //Journal of Nanofluids. 2014, vol. 3, №. 3, pp. 217-222.
3. Sivakumar S. et al. Property enhancement of transformer oil with suspension of TiO₂ nanoparticles //Journal of Nanofluids. 2014, vol. 3, №. 4, pp. 336-340.
4. Alizadeh H. et al. Experimental investigation on thermal performance of covalently functionalized hydroxylated and non-covalently functionalized multi-walled carbon nanotubes/transformer oil nanofluid //Case Studies in Thermal Engineering. 2022, vol. 31, pp. 101713.
5. Porgar S. et al. Physiochemical studies of functionalized MWCNT/transformer oil nanofluid utilized in a double pipe heat exchanger //Canadian Journal of Chemistry. 2021, vol. 99, №. 6, pp. 510-518.

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА КОМБИНИРОВАННОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Д.Е. Коряко, А.А. Мюльбаер

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dim.Koryako@yandex.ru**

Научный руководитель: Мюльбаер А. А., ст. преп.

Разработана новая схема генератора комбинированной волны, позволяющая испытывать устройства защиты от импульсных перенапряжений импульсами напряжения до 25 кВ и при одновременно приложенном рабочем напряжении промышленной частоты до 1500 В, что является новым для российской высоковольтной техники, т.к. все российские аналоги работают на напряжениях до 4 кВ, а приложенное рабочее напряжение не более 240 В.

A new combined wave generator circuit has been developed, which allows testing of surge protection devices with voltage pulses up to 25 kV and a simultaneously applied operating voltage of up to 1500 V at industrial frequency, which is a new feature for Russian high-voltage equipment, as all Russian analogues operate at voltages up to 4 kV and a maximum operating voltage of 240 V.

Для защиты от импульсных перенапряжений вторичного оборудования, телекоммуникационного оборудования и радиоэлектронной продукции различного назначения используют

устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Они предотвращают повреждение оборудования, снижая уровень перенапряжений до безопасных значений. Основными параметрами, характеризующими их эффективность, являются остающееся напряжение, время срабатывания, энергия, рассеиваемая устройством, и стойкость к серии импульсов.

Для оценки данных параметров применяются стандартные испытательные импульсы, регламентируемые международными нормами [1]. Генератор комбинированной волны (ГКВ) формирует грозовые импульсы напряжения 1,2/50 мкс и тока 8/20 мкс, учитывая установленные требования к длительности фронта, времени полуспада и величине импеданса.

Разработка схемы ГКВ

Схема ГКВ представлена на рисунке 1. Ее параметры взяты из работ [2-5]. В режиме холостого хода ГКВ должен генерировать стандартный грозовой импульс напряжения с временными параметрами 1,2/50 мкс, а в режиме короткого замыкания – стандартный грозовой импульс тока 8/20 мкс. Внутреннее сопротивление генератора, определяемое как отношение амплитуд напряжения в режиме холостого хода к току короткого замыкания при одном и том же зарядном напряжении ГКВ, должно составлять 2 Ом.

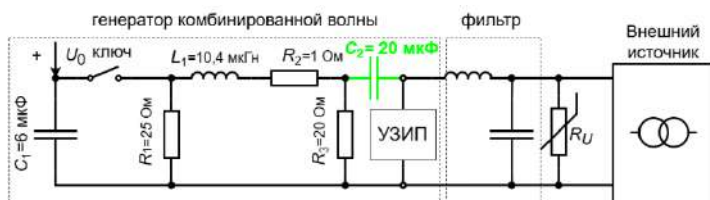


Рис. 1 – Схема генератора комбинированной волны

Согласно требованиям стандарта ИЕС 61000-4-5 испытания УЗИП на воздействие комбинированной волны должно проводиться под рабочим переменным или постоянным напряжением, подаваемым внешним источником. Для получения на испытуемом УЗИП необходимого рабочего напряжения (до 1500 В) на резисторах R_1 и R_3 (см. рисунок 1) необходимо обеспечить падение напряжение, равное рабочему, для чего потребуется источник рабочего напряжения мощностью около 138 кВт, что повышает требования как к самому источнику, так и к компонентам схемы.

Для снижения мощности источника рабочего напряжения и нагрева резисторов R_1 и R_3 между УЗИП и ГКВ предложено включить

разделительный конденсатор. При этом разделительный конденсатор должен выдерживать максимально возможный импульс тока и ток, который протекает через конденсатор от внешнего источника. Емкость выбиралась исходя из ограничения тепловых потерь в резисторах, мощности источника и доступности компонентов; оптимальное значение составило 20 мкФ.

При включении разделительного конденсатора параметры импульсов тока и напряжения отклоняются от требований стандарта, что требует корректировки параметров схемы. Всего нормируются 7 параметров. Корректировкой индуктивности L_1 и резисторов R_1 , R_2 и R_3 удалось добиться соответствия требованиям 6 из 7 параметров, кроме амплитуды обратной полярности импульса тока.

Снижение обратной полярности импульса тока

При генерации импульса тока значение обратной полярности составляет $0,56 \cdot I_{\max}$, что превышает допустимые $0,3 \cdot I_{\max}$. Для снижения обратной полярности предложено включить диод последовательно с зарядным конденсатором. При этом ключевым параметром, который определяет максимальное значение обратной полярности, является время восстановления диода. На рисунке 2 представлены осциллограммы токов в режиме короткого замыкания с различными типами диодов (ДЛ, МД, ДЧ).

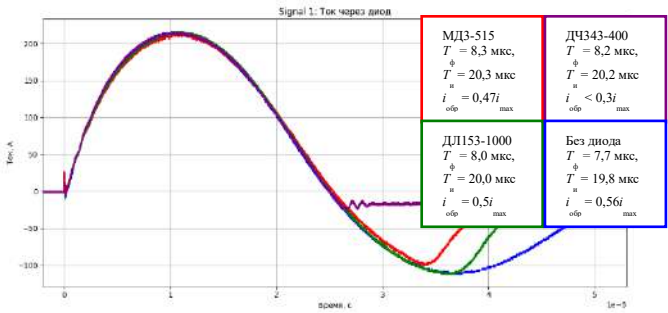


Рис. 2 – Осциллограммы токов при установке различных диодов

Из осциллограмм (см. рисунок 2) видно, что только диод ДЧ343-400 обеспечивает обратную полярность импульса тока ниже $0,3 \cdot I_{\max}$. Однако вследствие резкого закрытия диода возникает высокочастотное перенапряжение (ВЧП), достигающее 30 кВ. Из-за возникающего ВЧП необходимо включать большое количество последовательно соединенных диодов, чтобы ВЧП не превышало допустимые значения на одном диоде, или добиться снижения ВЧП.

Для ограничения ВЧП параллельно диодам устанавливаются снабберные RC -цепи. Проведены эксперименты по выбору номиналов конденсаторов и резисторов. Результаты представлены на рисунке 3. Чем меньше произведение RC , тем лучше ограничивается ВЧП. Исследование схем с различными номиналами (рисунок 3) показало, что уменьшение произведения RC снижает амплитуду ВЧП.

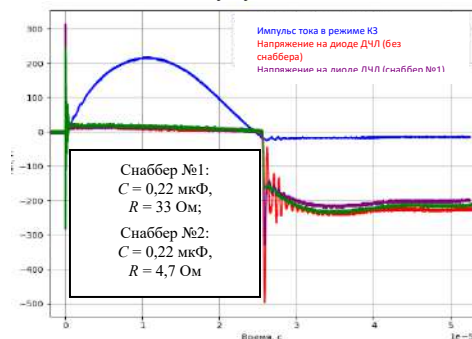
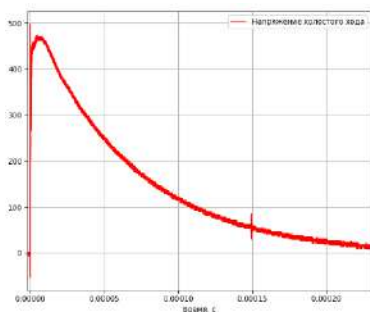
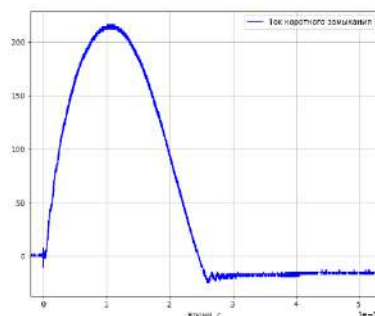


Рис. 3 – Осциллограммы ВЧП на диоде ДЧЛ

На рисунке 4 представлены итоговые осциллограммы импульсов тока и напряжения с учётом всех инженерных решений. Полученные формы импульсов тока и напряжения соответствуют требованиям стандарта IEC 61000-4-5.



$T_f = 1,3 \text{ мкс}$, $T_i = 56 \text{ мкс}$



$T_f = 8,2 \text{ мкс}$, $T_i = 20,2 \text{ мкс}$

Рис. 4 – Осциллограммы импульса тока и напряжения

Заключение

Разработан генератор комбинированной волны, соответствующий требованиям IEC 61000-4-5. Учтены особенности работы компонентов в импульсных режимах. Проведена оптимизация параметров схемы для

работы с разделительным конденсатором и снижением обратной полярности импульсов тока. Полученные экспериментальные данные подтверждают корректность выбранных технических решений.

Литература:

1. ГОСТ IEC 61000-4-5–2017. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к выбросу напряжения. – Введ. 01.01.2018. – Москва: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. - М.: Изд-во стандартов, 2018. – 65 с.
2. Aguiam B., Canacsinh H., Redondo L.M. Surge Generator according to IEC 61000-4-5: Study and Experimental Implementation, 2020, International Journal of Electronics and Electrical Engineering Systems, vol. 3, issue 2, pp. 27-33.
3. Marukatat N., Tuethong P. and Yutthagowith P. Design and Construction of a Combination Wave Generator, 2019 // 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/UPEC.2019.8893493.
4. Silaghi A. M., De Sabata A., Graur A. and Fechet R. Simulation of Surge Pulse Generator and Applications in Automotive Immunity Testing // 2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS), Suceava, Romania, 2020, pp. 117-120, doi: 10.1109/DAS49615.2020.9108951.
5. Carobbi C. F. M. and Bonci A. Elementary and ideal equivalent circuit model of the 1, 2/50-8/20 μ s combination wave generator // IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine, vol. 2, no. 4, pp. 51-57, 4th Quarter 2013, doi: 10.1109/MEMC.2013.6714698.

РАЗРАБОТКА АНАЛОГОВОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ БПЛА ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ И МАГНИТНОМУ ПОЛЯМ

И. Д. Николаев

Новосибирский государственный технический университет,

г.Новосибирск, nikkolaevvil@gmail.com

Научный руководитель: Лаптев О. И., к.т.н.

В статье представлено описание создания аналоговой части для системы ориентации БПЛА по электрическому и магнитному полям ВЛ. Была разработана плата, которая представляет собой аналоговую часть, определяющую частоту сети 50 Гц, при этом также усиливая данный сигнал до

необходимых для ориентации значений. Кроме того, летательный аппарат будет использоваться над воздушными линиями разных классов напряжения, в соответствии с чем выполнен расчет напряженности поля для ВЛ 110 и 220 кВ.

The article describes the creation of an analog part for the UAV orientation system based on the electric and magnetic fields of overhead lines. A board has been developed, which is an analog part that determines the network frequency of 50 Hz, while also amplifying this signal to the values necessary for orientation. In addition, the aircraft will be used over overhead lines of different voltage classes, according to which the field strength for overhead lines of 110 and 220 kV has been calculated

Диагностика воздушной линии электропередачи (ВЛ) при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) - это современный и недорогой способ диагностики таких протяженных объектов, как воздушная линия. Сейчас многие организации обзаводятся подобными устройствами, ориентируются по GPS, но в НГТУ ведётся НИОКР по разработке системы ориентации БПЛА по электрическому и магнитному полям ВЛ. Ориентация по полю наиболее точно располагает БПЛА над ВЛ, что позволяет максимально приблизиться к диагностируемому объекту и подробно его осмотреть. Схематичный пример такого полета приведен на рис.1.

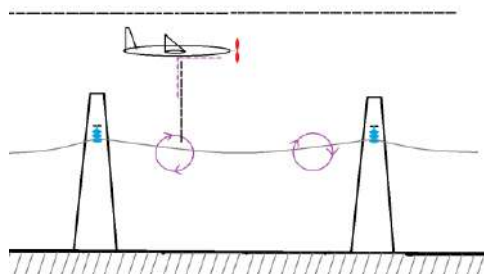


Рис. 1 – принцип полета БПЛА

Испытания прототипа показали, что размещение аналоговой части в центре БПЛА приводит к проблеме ЭМС - наводки на провода связи и плату от электроники БПЛА - антенны и контроллера полета. Поэтому было принято решение перенести расположение плат по одной на крыло.

Цель работы: разработка аналоговой части системы ориентации БПЛА по электромагнитному полю ВЛ.

Задачи:

1. Модернизация аналоговой части системы ориентации БПЛА (для её размещения на концах консолей крыла);
2. Расчёт электрического поля ВЛ 110 и 220 кВ для выбора уставок системы ориентации.

Изначально рассматривалось использование активного, либо пассивного фильтра, но по итогу был выбран именно активный фильтр, так как на частоте 50 Гц, потребовались бы либо большие индуктивности, либо большие емкости, что негативно бы сказалось как на габаритах, так и весе итогового устройства. Также внутреннее сопротивление источника очень велико, и необходим фильтр усилитель с большим входным сопротивлением - этому критерию удовлетворяет только активный фильтр на основе операционного усилителя. На рассмотрение были два типа фильтра: фильтр Саллена-Кея и MFB фильтры- фильтры с множественной обратной связью. Был выбран второй вариант, поскольку разброс номиналов элементов значительно меньше сказывается на итоговом результате усиления сигнала [3].

Итоговая принципиальная схема фильтра приведена на рис.2. Фильтр состоит из повторителя, двух каскадов полосовых MFB фильтров и инвертирующего повторителя, необходимого для подключения аналого-цифрового преобразователя в дифференциальном режиме.

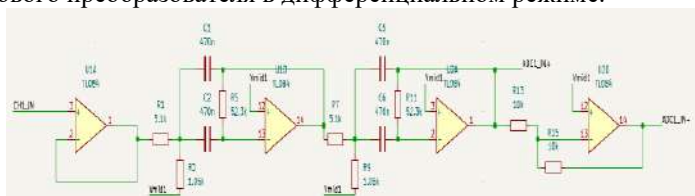


Рис. 2 – принципиальная схема фильтра

Далее производилась трассировка платы. К трассировке были представлены следующие требования: печатная плата должна быть максимально компактной и лёгкой, обязательно наличие надёжных разъёмов для подключения датчиков и подключения контроллера.

Получившийся размер платы составил – 60х60 мм. После ее заводского изготовления было необходимо вручную провести монтаж элементов– SMD, основной размер – 0603 (1,6х0,8 мм). использовались прецизионные компоненты с разбросом номиналов в пределе 1%. На рис.4 представлен результат монтажа.

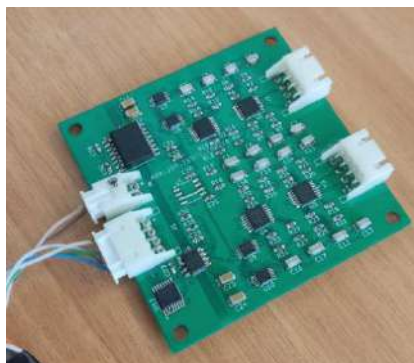


Рис. 3 – результат монтажа

На рис.4 приведена расчётная АЧХ фильтра и результаты измерения фактической АЧХ. Видно, что полученная АЧХ соответствует расчётной

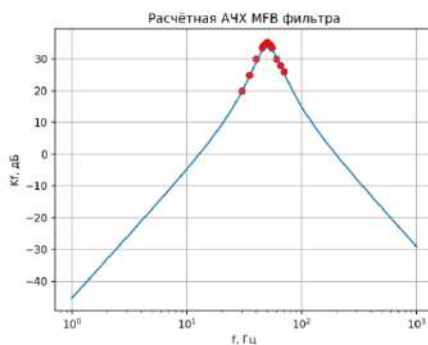


Рис. 4 – сравнение расчетного усиление сигнала с фактически полученным

При использовании системы ориентирования БПЛА над ВЛ разных классов напряжений на одинаковой высоте относительно ВЛ необходимо задавать разную уставку по напряжению и изменять коэффициент усиления сигнала. Соответственно, необходимо выполнить расчет электрического и магнитного полей для линий разных классов напряжений на различных опорах.

Так как большинство ВЛ с грозотросом, то он может искажать поле, поэтому необходимо проверить будет ли искажение поля над ВЛ. В результате расчётов выявлено, что он практически не искажает поле на высоте нескольких метров. Результат расчетов приведен на рис.5.

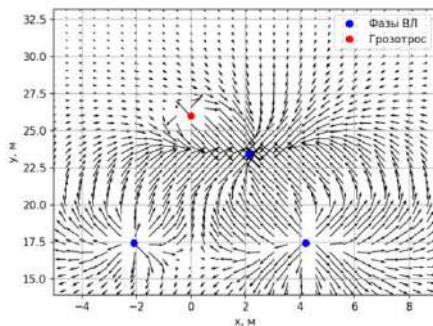


Рис. 5 – результат расчетов влияния грозотроса

На рис. 6 приведен результат расчета электрического поля на высоте 60 м для ВЛ 110 кВ опоры типа П110-5В и для ВЛ 220 кВ опоры типа П220-3.

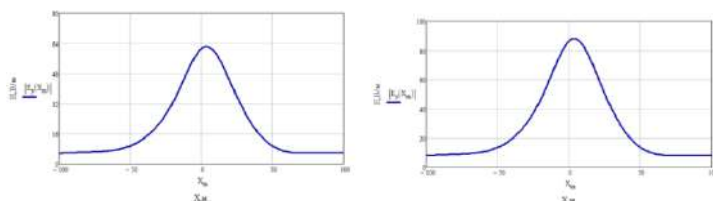


Рис. 6 – напряженность электрического поля для ВЛ 110 и 220 кВ

В заключении можно сказать:

- Разработана аналоговая часть системы управления БПЛА, пригодная для размещения на концах консолей крыла.
- Выполнены расчёты электрического поля ВЛ 110 и 220 кВ для использования в качестве уставок системы управления.

Литература:

1. Зиновьев Г. С. Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники: методическое руководство к практическим занятиям для магистрантов и инженеров 5 курса РЭФ (направление 550700, специальность 200400) дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. Г. С. Зиновьев и др.]. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. - 46 с.: ил.
2. Богданов В. В., Зибарев А. Ю. Электротехника и электроника (раздел "Электропривод и элементы электрооборудования летательных аппаратов"): методическое руководство к лабораторным работам для самолетостроительного факультета / Новосиб. электротехн. ин-т ; [сост.:

В. В. Богданов, А. Ю. Зибарев, Б. А. Иткин]. - Новосибирск: НЭТИ, 1985. - 35 с.: ил.

3. Кризе С. Н. Современные высококачественные усилители звуковой частоты / С.Н. Кризе, Ю.В. Черных. - М.: Знание, 1987. - 61 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ ТОПОГРАФИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Г. Ю. Петров

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск

Научный руководитель: Качесов В. Е., д.т.н., доцент

Неустойчивое однофазное замыкание на землю (ОЗЗ) в электрических сетях (ЭС) с неэффективно заземленной нейтралью требует локализацию для устранения дефекта изоляции, даже если дефект самоустранился. В настоящей статье предлагается способ локализации ОЗЗ и его практическая реализация с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). В основе метода поиска замыкания лежит анализ переходного напряжения, измеряемого на выходе электромагнитного датчика.

An unstable single-phase earth fault (SPEF) in electrical networks (EN) with an ineffectively grounded neutral must be localized in order to eliminate insulation defects, even if the defect has cleared itself. This paper proposes a method for SPEF location and its practical implementation using an unmanned aerial vehicle (UAV). The fault-finding method is based on analyzing the transient voltage measured at the output of an electromagnetic sensor.

Введение. В ЭС с неэффективным заземлением нейтрали не требуется отключение фидера с ОЗЗ. Однако длительное существование неустойчивого (перемежающегося) замыкания на землю провоцирует дуговые перенапряжения на неповрежденных фазах. Задача поиска места замыкания заметно упрощается с развитием беспилотных авиационных систем (БАС). В предлагаемой статье исследуется применение БАС для поиска мест замыкания на землю топографическим способом – путем облета воздушной линии.

Основа метода определения поврежденного участка линии.

При каждом ОЗЗ высокочастотные электромагнитные волны токов и напряжений, возникающие на поврежденном фидере, распространяются («растекаются») от места повреждения по всей ЭС и прежде всего по поврежденному фидеру. Незначительный пролет в радиальном направлении от центра (узла) питания над линией электропередачи позволяет измерить и сопоставить уровень высокочастотного излучения

линии. Очевидно, что линия с максимальным уровнем такого излучения является поврежденной.

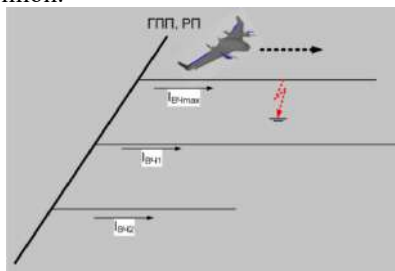


Рис.1 - Перемещение электромагнитного датчика, установленного на БПЛА, для локализации места повреждения фидера

Электромагнитный датчик.

ЭМ датчик представляет собой простейшую катушку индуктивности, но с большим количеством витков. Электродвижущая сила (ЭДС) на выводах электромагнитного (ЭМ) датчика над поврежденной линией электропередачи, в которой в моменты пробоя фазной изоляции протекает некоторый переходный достаточно высокочастотный ток замыкания $I_{вч}$, может быть грубо оценена следующим образом:

$$E \cong \frac{W \mu_0 I_{вч} S}{r},$$

где f , $I_{вч}$ – соответственно, частота и амплитуда высокочастотных колебаний в фазном проводе ВЛЭП, μ_0 – магнитная проницаемость воздуха, W – число витков катушки датчика, r – расстояние от датчика до фазного провода, S – площадь ЭМ датчика.

Моделирование перемещения БПЛА вдоль линии электропередачи.

Моделирование перемещения ЭМ датчика вдоль ВЛ 10 кВ посредством БПЛА на высоте 10м над верхней фазой ВЛ выполнено с помощью программы PSPICE [6], входящей в систему моделирования ORCAD. Упрощенная схема моделируемой ЭС показана на рис.2.

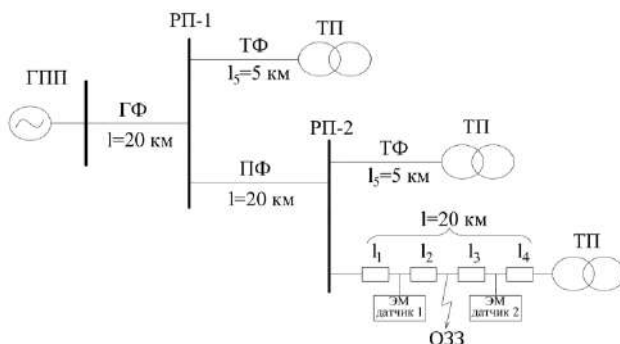


Рис.2 – Упрощенная однолинейная расчетная схема моделируемой ЭС

Для четкого выделения места замыкания и получения представления о характере горения заземляющей дуги целесообразно отделить НЧ составляющие от высокочастотных, в которые, в том числе, входит частота свободных колебаний измерительного контура

$$f_0 = \frac{\beta}{2\pi} = \frac{\sqrt{\beta_0^2 - \delta^2}}{2\pi} \quad (\delta \cong R_s / (2L_s))$$

После обработки сигналов ЭМ датчиков полосовым фильтром остается спектр, в котором легко выделяются НЧ максимумы.

В табл.1 представлены данные об относительном содержании НЧ составляющих в спектре напряжения ЭМ датчика после его фильтрации и нормировки. Вне зависимости от нагрузки на трансформаторной подстанции, характеризуемой током нагрузки I_n , после удаления от места ОЗЗ (положительные значения l_d) НЧ компоненты приблизительно составляют при ОЗЗ в середине фидера 3-5%; в случае ОЗЗ в конце фидера – от 3 до 25% в зависимости от нагрузки на трансформаторной подстанции (ТП).

Таблица 1 - Относительное содержание НЧ компонент в сигнале ЭМ датчика

Расстояние от ЭМ датчика до места ОЗЗ l_d , км	$I_n=130$ А	$I_n=0$
$l_{ОЗЗ}=10$ км		
-4	0.413	0.377
-1	0.638	0.480
-0.5	0.670	0.510
0.5	0.020	0.021
1	0.020	0.020
4	0.020	0.019

Выводы

1. Критерием определения места ОЗЗ может выступать относительное содержание НЧ составляющих в сигнале ЭМ датчика. Резкое изменение НЧ составляющих является индикатором пересечения места с ОЗЗ. Однако возможны редко встречающиеся места ОЗЗ - точки токоразделов, когда емкостные токи относительно места ОЗЗ становятся соизмеримыми, что приводит к соизмеримости НЧ составляющих.

2. Для облегчения определения места ОЗЗ целесообразно выполнять низкочастотную фильтрацию и нормировку сигнала относительно напряжения свободной частоты измерительного контура.

Литература:

1. Качесов В. Е., Лавров В. Ю., Черепанов А. Б. Параметрический способ определения мест повреждения в распределительных сетях // Электрические станции, №8, 2003, с. 37-43.
2. Гордеева Т. А., Жегина И. П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. – М.: «Машиностроение», 1978. – 200 с.
3. Качесов В. Е. Метод определения зоны однофазного замыкания в распределительных сетях под рабочим напряжением // Электричество, №6, 2005, с. 9-19.
4. Peters I. E., Slepian J. Voltage Induced by Arcing Ground. – Tr. AIEE, 1923, Apr., p.478.
5. Техника высоких напряжений. /Под ред. В.Д. Разевига, 1976.
6. Шуин В. А. Защиты от замыканий на землю в сетях 6–10 кВ / В. А. Шуин, А. В. Гусенков. – Москва: НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 104 с.
7. Разевиг Д. В. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center PSpice. – М.: СК Пресс, 1996. – 272 с.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИКОСНОВЕНИЯ НА ВЫВЕДЕННЫХ В РЕМОНТ ВЛ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В СЕТИ

А. Е. Шанова, А. А. Мюльбаер

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, nasta-shanova@mail.ru

Научный руководитель: Мюльбаер А. А., ст. преп.

В статье описываются возможные риски при проведении работ на отключенных и выведенных в ремонт воздушных линиях электропередачи высокого напряжения. Подчеркивается опасность несимметричных коротких

замыканий в сети и рассмотрены кондуктивный и магнитный механизмы возникновения опасных напряжений на отключенных и выведенных в ремонт воздушных линиях электропередачи.

The article describes the potential risks involved in working on high-voltage overhead power lines that have been disconnected and taken out of service for repair. It highlights the danger of asymmetrical short circuits in the network and examines the conductive and magnetic mechanisms of dangerous voltages occurring on de-energised and decommissioned overhead power lines.

Не теряет актуальность проблема возникновения несчастных случаев при работе ремонтного персонала на воздушных линиях электропередачи высокого напряжения. Согласно анализу несчастных случаев за период с 2014 по 2022 года [1], 40,8% несчастных случаев в электросетевых компаниях произошли при работах на ВЛ, что свидетельствует о масштабе проблемы безопасной работы на линиях электропередачи высокого напряжения.

Выделяют несколько основных причин травматизма при работе персонала на воздушных линиях электропередачи высокого напряжения: воздействие на тело человека электрического тока, падение пострадавшего с высоты и прочие причины, не имеющие классификации [2]. При этом главным поражающим фактором является воздействие на тело человека электрического тока, приводящее к летальному исходу в 58% случаев.

К основным причинам поражения человека электрическим током при работах на ВЛ можно отнести:

- 1) нарушение правил охраны труда и требований безопасности при работе на выведенных в ремонт линиях электропередачи, находящихся под наведённым напряжением [3];
- 2) осуществление оперативных переключений, нарушающих требования бланков переключений и приведших к ошибочной подаче рабочего напряжения на выведенную в ремонт линию. Но поскольку защита от подачи напряжения ступенчатая согласно требованиям Правил [4], такие случаи происходят крайне редко;
- 3) вынос потенциала на место проведения работ с заземляющего устройства подстанции по заземлённому грозозащитному тросу или по проводам воздушной линии, отключенных и заземлённых на РУ ПС и рабочем месте [5].

Проблема появления наведённых напряжений подробно рассмотрена во многих научных работах [6], а также разработаны методики по расчёту наведённых напряжений на отключенные воздушные линии, находящиеся вблизи действующих ВЛ [7], в то время как проблема выноса потенциала на место проведения работ с заземляющих устройств

подстанции остаётся не раскрыта. И в том, и в другом случае наибольшую опасность для рабочего персонала представляют несимметричные короткие замыкания. В этом случае возможны кондуктивный и магнитный механизмы возникновения опасных напряжений на выведенных в ремонт воздушных линиях электропередачи. Рассмотрим каждый из механизмов подробнее.

При заземлении отключенной воздушной линии электропередачи хотя бы на одном из распределительных устройств на подстанции возможен кондуктивный механизм возникновения опасных напряжений на рабочем месте при несимметричных коротких замыканиях как на самой подстанции, так и на отходящих линиях. Это становится возможным из-за стекания с заземляющего устройства тока, вследствие которого происходит значительное повышение напряжения на заземляющем устройстве. Такой ток принято называть потенциалоповышающим [8]. Его значения зависят от таких факторов, как:

- 1) место короткого замыкания;
- 2) значения токов подпитки короткого замыкания;
- 3) коэффициентов трансформации установленных на подстанциях автотрансформаторов (трансформаторов);
- 4) заземлённых коммуникаций, отходящих от подстанции, например, кабелей с экраном или бронёй, воздушных линий с грозозащитными тросами или трубопроводных систем.

Так, если провода выведенной в ремонт воздушной линии заземлены на подстанции, происходит вынос потенциала заземляющего устройства подстанции на место проведения работ на воздушной линии. А также стоит обратить внимание, что при протекании токов подпитки короткого замыкания через автотрансформатор, на подстанции, на которой установлен данный автотрансформатор, обязательно произойдёт увеличение напряжения на заземляющем устройстве независимо от места короткого замыкания. Соответственно на любой выведенной в ремонт отходящей воздушной линии возможен вынос потенциала на рабочее место при коротком замыкании в любой точке сети, что представляет угрозу для жизни и здоровья рабочего персонала.

Магнитный механизм возникновения опасных напряжений на рабочем месте возможен при наличии рядом с выведенной в ремонт воздушной линии работающей линии электропередачи. Протекающие по ней токи короткого замыкания создают в выведенной в ремонт воздушной линии продольную наведенную ЭДС. Магнитное влияние в аварийном режиме намного больше, чем в нормальном режиме, по двум причинам:

- 1) при несимметричных коротких замыканиях отсутствует взаимная компенсация магнитного поля, вызванного током подпитки;
- 2) токи подпитки короткого замыкания намного превышают токи нормального режима.

Так, несимметричные короткие замыкания могут стать причинами появления опасных напряжений прикосновения на отключенных и выведенных в ремонт воздушных линиях электропередачи в результате выноса потенциала на место проведения работ при кондуктивном влиянии и возникновении наведенной продольной ЭДС при магнитном влиянии.

Стоит отметить, что возможны случаи, когда кондуктивный и магнитный механизмы возникновения опасных напряжений существуют одновременно. В таком случае оценка безопасности работы ремонтного персонала на выведенной в ремонт воздушной линии усложняется. Для оценки значений возникающих напряжений в дальнейших работах планируется создание математической модели на основе представления части схемы замещения системы в виде графа и решения системы уравнений по методу узловых напряжений в матричной форме.

Литература:

1. Виноградов А. В., Хименко А. В., Лансберг А. А. Анализ несчастных случаев в электросетевых компаниях // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 2. С. 78-85. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-78-852>.
2. Динамика производственного травматизма в 2024 году // *Электроэнергия. Передача и распределение*. – 2025. – № 3(90). – С. 134-137.
3. Мюльбаер А. А. Анализ причин несчастных случаев при работах на воздушных линиях электропередачи, находящихся под наведенным напряжением / А. А. Мюльбаер // *Новое в российской электроэнергетике*. – 2017. – № 4. – С. 71-77.
4. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Омега-Л», 2014. – 139 с.
5. Горшков А. В. Оценка выноса потенциалов с заземлителей подстанций при определении наведенного напряжения на отключенной воздушной линии электропередачи // *Электричество*. 2020. № 6. С. 13-23.
6. Захаров Д. Б., Пионт Д. Ю., Яблучанский П. А. Оценка влияния высоковольтной линии электропередачи на подземный трубопровод и его защита от воздействия наведенного переменного тока / Д. Б. Захаров, Д. Ю. Пионт, П. А. Яблучанский // *ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ* №9. — Москва:ОАО "Газпром", 2018. — С. 84-90.

7. СТО 56947007-29.240.55.018-2009. Методические указания по определению наведенного напряжения на отключенных воздушных линиях, находящихся вблизи действующих ВЛ. – Введ. 22.01.2009. – М.: ФСК ЕЭС, 2009.

8. СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок // ОАО «ФСК ЕЭС» // URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.130.15.105-2011.pdf (дата обращения: 24.11.2025)

SWOT-АНАЛИЗ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ РЕКЛОУЗЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

П. Д. Юшкевич

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, polina35793579@gmail.com**

Научный руководитель: Глазырин В. Е., к.т.н., доцент

В статье представлен SWOT-анализ применения реклоузеров в электрических сетях, а также сравнительный анализ реклоузеров, выпускаемых российскими компаниями, предлагающих решения для автоматизации и защиты распределительных систем. Рассмотрены сильные и слабые стороны, возможности и угрозы, связанные с внедрением реклоузеров.

This article presents a SWOT analysis of the use of reclosers in electrical networks, as well as a comparative analysis of relay protection manufacturers offering solutions for automation and protection of distribution systems. The strengths, weaknesses, opportunities, and threats associated with the implementation of reclosers are discussed.

Стратегический анализ – это систематический процесс получения знаний о внутренних и внешних условиях, способных повлиять на выбор и осуществление стратегии развития, а также на рыночные позиции предприятия или оборудованию, применяемому на предприятии. Одним инструментов стратегического анализа является метод SWOT – анализа. Этот метод является широко признанным и позволяет проводить совместное исследование внешней и внутренней среды анализируемого объекта. Используя метод SWOT – анализа, имеется возможность установить связи между сильными и слабыми сторонами, существующими внешними угрозами и возможностями, которые присущи предприятию или оборудованию [1]. SWOT-анализ позволяет лучше понять текущее состояние и перспективы использования

конкретного оборудования, а также помогает принимать обоснованные решения по его модернизации или замене.

В условиях современного энергетического рынка, характеризующегося увеличением потребления электроэнергии и разнообразием источников ее генерации, надежность распределительных сетей становится одной из ключевых задач для энергетических компаний. Одним из эффективных средств повышения надежности и быстрого восстановления электроснабжения являются реклоузеры.

Реклоузер – это устройство, предназначенное для автоматического отключения, а также повторного включения цепи переменного тока в режимах КЗ и без КЗ по предварительно заданной последовательности циклов отключения и включения с последующим возвратом АПВ в исходное состояние [2].

Релейная защита, в свою очередь, играет важную роль в обеспечении корректной работы реклоузеров, позволяя минимизировать время ликвидации аварий и повысить надёжность электроснабжения.

Выполняем SWOT-анализ функциональных возможностей релейной защиты, действующей в составе реклоузеров, для оценки эффективности их применения в электрических сетях.

S (Strengths) — Сильные стороны:

- Автономность и быстрдействие: Локализация и ликвидация ~80% временных повреждений за несколько секунд без вмешательства диспетчера.
- Многофункциональность: Интеграция в одном устройстве МТЗ, ЗНЗ, АПВ, регистратора аварийных процессов (осциллографа).
- Сочетание в себе функций коммутационного аппарата и устройств релейной защиты
- Адаптивность и диагностика: Дистанционное изменение уставок и сбор данных о состоянии сети для анализа и прогнозирования.
- Низкие затраты на текущее обслуживание.

W (Weaknesses) — Слабые стороны:

- Высокая стоимость: Значительные капитальные вложения по сравнению с использованием традиционных защит.
- Сложность первоначальной наладки: Необходимость в высококвалифицированном персонале.
- Необходимость надежной сети для телеметрии: Без стабильного соединения становится невозможной передача данных о состоянии реклоузера диспетчерским пунктам. Однако этот фактор не влияет на работоспособность встроенных средств релейной защиты и автоматики, которые продолжают функционировать независимо от наличия связи.

O (Opportunities) — Возможности:

- Интеграция в концепцию Smart Grid: Реклоузер становится интеллектуальным узлом сети (IED).
- Реализация адаптивных алгоритмов защиты: Логическая и дифференциальная защита на основе обмена данными между реклоузерами, что повышает важность правильного выбора их взаимного расположения и ценность совместного использования.
- Переход к обслуживанию по состоянию: Использование данных диагностики для прогнозного ремонта.

Т (Threats) — Угрозы:

- Кибербезопасность: Уязвимость интеллектуальных систем к удаленным атакам.
- Человеческий фактор: Ошибки в проектировании, настройке и обслуживании.

Определив с помощью SWOT-анализа целевые ориентиры для встроенных устройств релейной защиты и автоматики реклоузеров, переходим к выбору средств для их достижения. Производим сравнительный анализ реклоузеров, выпускаемых российскими компаниями «Чебоксарский электромеханический завод» («ЧЭМЗ»), «Таврида Электрик», «Арсенал» и «Энерготехмонтаж».

Таблица 1 – Сравнительная таблица реклоузеров российских компаний

Параметр	ЧЭМЗ УСЛ- Реклоузер 35 кВ [3]	Таврида электрик Smart 35 [4]	Арсенал [5]	Энерготех- монтаж OSM 38 [6]
Напряжение, кВ	35	35	35	35
Номинальный ток, А	2000	1250	800	800
Ток отключения, кА	31,5	20	16	16
Время отключения, мс	-	≤60	≤70	-
Срок службы, лет	30	30	25	30
Диапазон температур, °С	-50...+40	-50...+45	-60...+55	-60...+55
Коммутационный ресурс, циклов ВО	-	30000	30000	30000

Несмотря на существующие достижения в области импортозамещения и адаптации к российским условиям, реклоузеры производимые российскими компаниями продолжают иметь общие системные недостатки. Их внедрение требует существенных инвестиций не только в оборудование, но и в модернизацию инфраструктуры и подготовку персонала, что создает значительные экономические затруднения. При этом сохраняются проблемы совместимости оборудования разных производителей и отсутствия единых стандартов настройки, усложняющие интеграцию в существующие сети. Ключевая проблема заключается в том, что для успешного внедрения реклоузеров необходимо одновременно развивать как сами технические решения, так и всю инфраструктуру их эксплуатации. Это означает, что нужно учитывать не только внедрение самих устройств, но и все аспекты их интеграции в существующую инфраструктуру, включая обучение персонала и создание общих правил и стандартов для работы с новыми технологиями.

На основе приведенного выше SWOT-анализа можно сделать вывод, что внедрение реклоузеров в электрических сетях является важным шагом для повышения надежности распределительных сетей. Несмотря на представленные слабые стороны, такие как высокая стоимость и необходимость квалифицированного персонала, преимущества автоматизации и снижение числа продолжительных отключений потребителей делают реклоузеры эффективным решением для повышения надёжности современных электросетей.

Литература:

1. Кизка Н. Д., Янгиров А. В. Модель углубленного SWOT - анализа model depth SWOT - analysis [Электронный ресурс] // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2014. №3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-uglublennogo-swot-analiza-model-depth-swot-analysis> (дата обращения: 04.11.2025).
2. Сивеев Т. М., Сорокин А. С., Груздов А. Г., Дегтярёв Д. А. Реклоузер как инструмент повышения надежности [Электронный ресурс] // Стольпинский вестник. 2022. №5. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reklouzer-kak-instrument-povysheniya-nadezhnosti> (дата обращения: 09.11.2025).
3. Руководство по эксплуатации устройства секционирования воздушных и кабельных линий для сетей напряжением 35 кВ типа УСЛ-РЕКЛОУЗЕР-35 ЗАО «Чебоксарский электромеханический завод». – 34с.
4. Техническая информация TER_Rec35_Smart1_Sub7 «Таврида Электрик». – 64 с.

5. Электро Арсенал [Электронный ресурс] // Сайт производителя.
— URL: https://www.elektro-arsenal74.ru/goods/162914918-punkt_seksionirovaniya_pss_6_10kv (дата обращения: 30.11.2025).
6. Техническая информация: Вакуумный реклоузер серии OSM, модели до 15 кВ, 27 кВ и 38 кВ «Энерготехмонтаж». – 23 с.

ИНТЕГРИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ИЗ РАСЧЁТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

А. А. Сёкан

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, drew210802@gmail.com**

Научный руководитель: Достовалов Д. Н., к.т.н., доцент

В статье рассматриваются современные методы моделирования устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) в сочетании с расчётом установившихся режимов электрических сетей. Оценивается роль цифрового моделирования, симуляции переходных процессов, применения технологий реального времени и аппаратно-программных комплексов Hardware-in-the-Loop (HIL) для анализа работоспособности защитных алгоритмов. Подчёркивается необходимость интеграции расчёта режимов с моделированием РЗА, особенно в условиях растущей доли инверторной генерации и цифровизации подстанций. Представлены основные проблемы, вызовы и тенденции развития систем защиты в интеллектуальных электрических сетях.

The article examines modern methods for modeling relay protection and automation (RPA) devices in combination with steady-state power system calculations. It evaluates the role of digital modeling, transient simulations, real-time technologies, and Hardware-in-the-Loop (HIL) platforms for analyzing the performance of protection algorithms. The need to integrate steady-state calculations with RPA modeling is emphasized, particularly under conditions of increasing inverter-based generation and the digitalization of substations. The main problems, challenges, and development trends of protection systems in intelligent electric networks are presented.

Современные электроэнергетические системы переживают этап глубоких структурных изменений, связанных с широким внедрением распределённых энергоресурсов, цифровизацией процессов управления и появлением новых требований к надёжности и устойчивости режимов. В этих условиях моделирование устройств релейной защиты приобретает центральное значение, поскольку позволяет исследовать поведение сети при авариях, переходных процессах и разнообразных динамических воздействиях, недоступных для традиционного физического

тестирования [1]. Математические модели, используемые в РЗА, включают представление линий электропередачи, трансформаторов, генераторных установок и современных инверторных источников энергии, которые обладают нелинейными характеристиками и существенно отличаются от классических синхронных машин [2].

Построение цифровых двойников энергосистем становится важнейшим направлением в научных исследованиях и инженерной практике. Такие цифровые модели позволяют накапливать данные о реакции системы на различные режимы, проводить виртуальные эксперименты, тестировать работу алгоритмов защиты и оценивать устойчивость сети в нетипичных ситуациях [3]. Моделирование охватывает широкий спектр сценариев — от кратковременных переходных процессов до длительных аварийных режимов, включая многополусные короткие замыкания, обрывы фаз, нарушения симметрии нагрузки и колебания напряжения [4]. Точность моделирования определяется выбором математического подхода: фазорные модели используются для анализа потоков мощности, квазистационарные модели — для оценки общесистемных процессов, тогда как EMT-модели обеспечивают детализированное представление переходных процессов в микросекундных масштабах [5].

Современные программные решения играют ключевую роль в реализации моделей. К наиболее распространённым относятся DIgSILENT PowerFactory, MATLAB/Simulink, ETAP, PSS/E и специализированные инструменты для моделирования устройств РЗА [6]. Эти платформы позволяют учитывать параметры реальных электрических сетей, интегрировать данные стандартов обмена (COMTRADE, IEC 61850), моделировать как механизмы обработки измерений, так и логику работы цифровых реле [7]. В последнее время значительное распространение получили решения, поддерживающие моделирование в реальном времени, что даёт возможность осуществлять высокоточные расчёты с минимальной задержкой и подключать реальное оборудование к цифровой модели [8].

Технологии реального времени являются ключевым инструментом для проверки работоспособности защитных алгоритмов в условиях, близких к реальным. Платформы RTDS, Opal-RT и Typhoon HIL выполняют расчёты с временными шагами порядка микросекунд, что позволяет моделировать переходные процессы с высокой точностью [9]. В рамках методологии Hardware-in-the-Loop реальное релейное устройство взаимодействует с цифровой моделью сети, получая от неё токи и напряжения, и формируя управляющие сигналы обратно в модель. Такой подход обеспечивает тестирование алгоритмов защиты без риска

повреждения оборудования, позволяет моделировать наиболее опасные аварийные события и учитывать влияние задержек, шумов и нестабильности каналов связи [10]. Расширенной версией HIL является Power-Hardware-in-the-Loop, где в контур моделирования включаются реальные силовые преобразователи и элементы микросетей, что делает процессы испытаний ещё более реалистичными [11,12].

Наряду с моделированием переходных процессов важную роль играет расчёт установившихся режимов работы электрических сетей. Этот процесс определяет распределение напряжений, токи в элементах, потери мощности и устойчивость сети в нормальных условиях. Расчёт режимов является основой для выбора и настройки уставок релейной защиты, поскольку защитные устройства реагируют на отклонения параметров сети относительно расчётных значений. Традиционные методы расчёта потоков мощности, такие как метод Ньютона—Рафсона, позволяют получать точные решения для широкого круга сетей, однако современная энергетика предъявляет дополнительные требования, связанные с двунаправленными потоками мощности, низкими токами короткого замыкания со стороны инверторов и высокой динамичностью нагрузки [13].

Интеграция расчётов установившихся режимов с моделированием РЗА необходима в условиях роста доли инверторной генерации, поскольку традиционные алгоритмы защиты работают некорректно при низких значениях тока короткого замыкания, характерных для инверторных источников [14]. Это вызывает необходимость внедрения адаптивных защитных алгоритмов, использующих данные о текущих режимах сети и корректирующих уставки в режиме реального времени. Технологии цифровых подстанций, использующие протокол IEC 61850, позволяют передавать измерения и управляющие команды в виде цифровых сообщений GOOSE и Sampled Values, однако такие каналы связи подвержены задержкам, потере пакетов и киберугрозам, что также требует моделирования и проверки в виртуальной среде [15].

С развитием киберфизических систем энергоснабжения возрастает важность моделирования защит в условиях потенциальных атак на коммуникационные каналы. Экспериментальные платформы, совмещающие моделирование сети и симуляцию информационно-коммуникационной инфраструктуры, позволяют исследовать устойчивость РЗА к саботажу, искажению данных и несанкционированным воздействиям на логику защит [16]. В результате развивается новое направление — «защита защиты», предполагающее применение механизмов самоконтроля и обнаружения аномалий в работе РЗА.

Перспективы развития моделирования связаны с внедрением искусственного интеллекта в защитные алгоритмы. Нейронные сети, методы машинного обучения и модели глубокого обучения позволяют автоматизировать процесс распознавания аварий, адаптировать уставки к текущему состоянию сети и повышать надёжность функционирования систем защиты [17]. Однако практическое внедрение ИИ в РЗА ограничено трудностями сертификации таких алгоритмов, отсутствием объяснимости выводов и необходимостью обеспечения предсказуемой работы в реальном времени [18]. Тем не менее, цифровые двойники, виртуализированные IED и распределённые вычислительные платформы создают основу для внедрения интеллектуальных систем защиты в ближайшие годы.

Таким образом, интегрированное моделирование устройств релейной защиты и расчёта установившихся режимов является ключевым инструментом для анализа, проектирования и развития современных энергосистем. Совместное использование ЕМТ-моделей, HIL-технологий, цифровых коммуникаций и методов расчёта потоков мощности обеспечивает высокую точность анализа, позволяет выявлять потенциальные проблемы ещё на стадии проектирования и формирует основу для создания интеллектуальных, адаптивных и киберустойчивых систем релейной защиты.

Литература:

1. Моисеев Д. В., Галанина Н. А., Иванова Н. Н. Разработка методики экспресс-анализа аварийных режимов электрической системы [Электронный ресурс] // Вестник ЧГУ. 2019. №3.70e Consultants. Power System Modeling: Ensuring Electrical System Reliability. – URL: <https://70econsultants.com> (дата обращения: 23.11.2025).
2. Chen Z., Xie M., Zu Q., Abdulfattokhov S. Electrical automation intelligent control system based on internet of things technology -Electrica, 23(2), 329-337, 2023.
3. Texas A&M University. Modeling and Simulation Tools for Protective Relaying [Electronic resource]. – URL: <https://www.tamu.edu> (accessed: 25.11.2025).
4. Brandt M., Brandt A. Role of Modeling & Simulation in Addressing DER Integration Challenges to Distribution System Protection Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) [Electronic resource]. – 2022. – URL: <https://www.pacw.org/role-of-modeling-simulation-in-addressing-der-integration-challenges-to-distribution-system-protection> (accessed: 01.12.2025).

5. Astapov V., Palu I., Vaimann T. The Use of DigSilent Power Factory Simulator for “Introduction into Power Systems” Lectures // *Electrical, Control and Communication Engineering*. – 2018. – T. 14. – №. 2. – C. 95-99.
6. Gogoryan M. Testing Microprocessor-Based Relay Protection: Conventional Devices vs Hardware-in-the-Loop [Electronic resource] // 24th International Symposium INFOTEH-JAHORINA – 2025. – p.182-187. – URL: <https://infoteh.etf.ues.rs.ba/zbornik/2025/radovi/221.pdf> (accessed: 25.11.2025).
7. A. Ameer, K. Loudiyi, M. Aggour Steady State and Dynamic Analysis of Renewable Energy Integration into the Grid using PSS/E Software // *Energy Procedia*, vol. 141, 2017, p.119-125, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.023>.
8. M. A. Aftab, S.M. S. Hussain, I. Ali, T. S. Ustun, IEC 61850. International Journal of Electrical Power & Energy Systems based substation automation system // *A survey International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 120, 2020, 106008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106008>.
9. Mathematical Modeling of Electrical Power Systems for Real-Time Simulation // *Control and Automation*. – 2023. – Vol. 15, № 4. – P. 1631.
10. Osório, C.R.D., Genic, A., Costa, S. Introduction to Typhoon HIL: Technology, Functionalities, and Applications. In: Tripathi, S.M., Gonzalez-Longatt, F.M. (eds) *Real-Time Simulation and Hardware-in-the-Loop Testing Using Typhoon HIL*. Transactions on Computer Systems and Networks. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0224-8_1.
11. Hardware-in-the-Loop (HIL) Testing [Electronic resource]. – URL: <https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/analog-vs-digital-control/software-tools-and-simulation/hil-testing> (accessed: 25.11.2025).
12. Power Hardware-in-the-Loop (PHIL): A Review to Advance Smart Inverter-Based Grid-Edge Solutions / von Jouanne A., Agamloh E., Yokochi A. // *Energies* 2023, 16, 916. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16020916>.
13. A. Nur and A. Kaygusuz. Load Flow Analysis with Newton–Raphson and Gauss–Seidel Methods in a Hybrid AC/DC System // *IEEE Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 44, no. 4, pp. 529-536, Fall 2021, doi: 10.1109/ICJECE.2021.3097447.
14. Peyghami S. et al. Standard test systems for modern power system analysis: An overview // *IEEE industrial electronics magazine*. – 2019. – T. 13. – №. 4. – C. 86-105.
15. Xu S., Xue Y., Chang L. Review of power system support functions for inverter-based distributed energy resources-standards, control algorithms, and trends // *IEEE open journal of Power electronics*. – 2021. – T. 2. – C. 88-105.

16. Cyber-Physical Testbed Co-Simulation Real-Time: Normal and Abnormal System Frequency Response / J. M. Riquelme-Dominguez, F. Gonzalez-Longatt, A. F. S. Melo, J. L. Rueda and P. Palensky // IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 60, no. 2, pp. 2643-2652, 2024, DOI: 10.1109/TIA.2023.3342764.

17. Modern trends in power system protection for distribution grid with high DER penetration / Rishabh Jain, Yaswanth Nag Velaga, Kumaraguru Prabakar // NREL Technical Report. – 2023. – No. NREL/TP-77258.

18. Alhamrouni I., Abdul Kahar N.H., Salem M., Swadi M., Zahroui Y., Kadhim D.J., Mohamed F.A., Alhuyi Nazari M.A. Comprehensive Review on the Role of Artificial Intelligence in Power System Stability, Control, and Protection: Insights and Future Directions - Appl. Sci. 2024, 14, 6214., doi: <https://doi.org/10.3390/app14146214>.

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ В СОСТАВЕ АЭК

Д. А. Пехота

Новосибирский Государственный Технический Университет

г. Новосибирск, pexota.98@mail.ru

Научный руководитель: Глазырин В. Е., к.т.н., доцент

В работе представлен гибридный алгоритм автоматического отключения нагрузки в составе активного энергетического комплекса. Алгоритм реализует определение состава и мощности отключаемой нагрузки при возникновении перегрузок или аварийных событий, требующий данный этот вид управляющих воздействий. Задача отключения нагрузки формализована как дискретная комбинаторная оптимизационная задача, аналогичная задаче о рюкзаке, где необходимо выбрать подмножество нагрузок для отключения с минимальным ущербом при достижении требуемого снижения мощности. В зависимости от числа управляемых присоединений используется два режима работы: метод полного перебора или при большем числе нагрузок генетический алгоритм.

The article presents a hybrid algorithm for automatic load shedding as part of an active energy complex. The algorithm implements load shedding in case of overloads and emergency events that require this type of control actions. The load shedding problem is formalized as a discrete combinatorial optimization problem, similar to the knapsack problem, where it is necessary to select a subset of loads to disable with minimal economic damage while achieving the required power reduction. Depending on the number of controlled connections, two modes of operation are used: the full search method and the genetic algorithm for a larger number of loads.

Современные тенденции развития электроэнергетики направлены на переход к использованию распределённых и интеллектуальных систем управления, объединяющих источники генерации, и накопители энергии. Своевременно возникла концепция активных энергетических комплексов (АЭК). Под объектами АЭК понимаются функционирующие в составе Единой энергетической системы России объекты по производству электрической энергии (электростанции) и энергопринимающие устройства промышленных предприятий, административно-деловых центров и торговых центров, в отношении которых выполняется ряд условий, перечисленных в [1].

Концепция АЭК может рассматриваться как национальная адаптация принципов «Smart Grid», дополненная элементами централизованного управления и особым вниманием, направленным на технологическую безопасность [2].

Одним из ключевых элементов АЭК является управляемое интеллектуальное соединение (УИС). УИС является программно-аппаратным комплексом, позволяющим управлять производством и потреблением электрической энергии в рамках АЭК, устранением локальных перегрузок оборудования и увеличением надёжности электроснабжения в целом за счёт повышения выживаемости самой системы электроснабжения. УИС необходимо, в первую очередь, для регулирования перетока мощности между ЕЭС России и АЭК и не допускать превышения этого перетока над заявленной величиной разрешенной обменной мощности АЭК. Требования к УИС и перечень его функций рассмотрены в [3].

В состав функционала УИС входят средства регулирования генерации, управления накопителями энергии и функция автоматического отключения нагрузки — как часть противоаварийного управления. При этом отключение нагрузки должно производиться рационально, с минимизацией ущерба для потребителей и сохранением в работе приоритетных групп электроснабжения.

Таким образом, задача системы автоматического отключения нагрузки (САОН) в составе АЭК может быть формализована как дискретная комбинаторная оптимизационная задача, аналогичная классической «задаче о рюкзаке» [4]. В этой постановке имеется множество управляемых нагрузок, каждая из которых характеризуется потребляемой мощностью и важностью. Требуется определить подмножество нагрузок, которое необходимо отключить для достижения требуемого снижения потребления мощности при минимальном суммарном «ущербе» системе.

Эта задача является NP-трудной, поскольку число режимов, которые необходимо рассчитать, определяется показательной функцией от числа управляемых нагрузок, и при большом числе управляемых нагрузок не может быть решена полным перебором в приемлемое время. Вместе с тем, в небольших сетях, где количество управляемых присоединений невелико, возможна реализация детерминированного поиска оптимального решения методом полного перебора. Поэтому при разработке алгоритма автоматического отключения нагрузки в составе АЭК рассмотрен гибридный подход, в котором комбинируются точные и эвристические методы оптимизации.

Разработанный алгоритм функционирует в двух режимах:

Режим полного перебора — используется, когда число управляемых нагрузок не превышает 20. В этом случае система перебирает все возможные комбинации отключаемых присоединений, выбирая решение, обеспечивающее минимальный суммарный ущерб при достижении требуемого снижения потребляемой мощности. Преимуществом этого подхода является получение оптимального решения без приближений и ошибок округления.

Режим генетического алгоритма (ГА) — применяется, если число управляемых нагрузок превышает 20. В этом случае полный перебор становится слишком затратным по времени, и становится целесообразным использовать эволюционный метод, основанный на принципах естественного отбора и селекции решений.

Генетический алгоритм реализован в стандартной форме с операторами отбора, кроссовера и мутации, при этом особью ГА является набор положений коммутационных аппаратов управляемых присоединений (УП), соответствующих всем управляемым нагрузкам, принимающих значения 0 или 1 (0 – отключен, 1- включен). Каждой особи соответствует также значение суммарной ценности УП и суммарной активной мощности УП.

Целевая функция ГА определяется следующим выражением:

$$F_{\text{fit}} = \max (V_{\text{сумм. тек}} - \sum_j Q_j \cdot V_{\text{тек.УП } j}),$$

где j – номер УП; Q_j – состояние выключателя j -го УП (1 – включён, 0 – отключён); $V_{\text{тек.УП } j}$ – текущая ценность выбранного для отключения j -го УП, $V_{\text{сумм. тек}}$ – текущее суммарное значение ценности потребителей в составе энергосистемы. Но данная целевая функция имеет ограничение по суммарной активной мощности включенных УП, равное по величине допустимой активной мощности оставшихся УП в работе после выдачи управляющих воздействий (УВ).

При превышении значения суммарной активной мощности оставшихся включенных УП ценность этой особи приравнивается нулю, для предотвращения дальнейшего использования такого решения в следующих поколениях работы ГА.

Для проверки работоспособности предложенного подхода проведён ряд вычислительных экспериментов с моделированием различных наборов нагрузок. На основе проведённых исследований можно сделать вывод, что разработанный гибридный алгоритм позволяет обеспечить выполнение функции автоматического отключения нагрузки в реальном времени в составе активного энергетического комплекса. Алгоритм обеспечивает рациональное использование вычислительных ресурсов, высокую адаптивность и возможность масштабирования при изменении структуры АЭК.

Литература:

1. Постановление Правительства РФ от 21 марта 2020 г. № 320 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования активных энергетических комплексов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> – (дата обращения: 12.08.2025).

2. Дзюба А. П., Актуальность применения активных энергетических комплексов в промышленности России / А. П. Дзюба, А. В. Семиколонов // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2021. – № 9(201). – С. 31-40. – DOI 10.33285/1999-6942-2021-9(201)-31-40. – EDN МАМОАА.

3. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30 июня 2020 г. № 507 «Об утверждении требований к управляемому интеллектуальному соединению активных энергетических комплексов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru> – (дата обращения: 12.08.2025).

4. Knapsack problem 0-1 / Задача о рюкзаке [Электронный ресурс]. — URL: https://rosettacode.org/wiki/Knapsack_problem/0-1 (дата обращения: 13.01.2025).

**ПРОТОТИП ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ**

М. С. Баканов, А.Г. Семис-оол
Новосибирский промышленно-энергетический колледж,
г. Новосибирск, matvejbakanov7@gmail.ru
Научный руководитель: Семис-оол А.Г., Макарова Д.С.

В статье описывается разработка и испытание прототипа источника электроэнергии за счёт тепла сетевой воды. Выработка электроэнергии производится термоэлектрическими преобразователями - элементами Пельтье.

The article describes the development and testing of a prototype of an electric power source based on the heat of network water. The electric power generation is produced by thermoelectric converters - Peltier elements

Для функционирования систем контроля, дистанционного и автоматического управления (СКУ) котельной либо теплового пункта необходимо надёжное обеспечение электроэнергией. Стабилизировать работу систем контроля и управления позволяет установка источников бесперебойного питания, которые заряжаются от электросети. Однако при ненадлежащем обслуживании СКУ аккумуляторы могут разрядиться или выйти из строя и не обеспечивать проектный ресурс автономной работы. Поэтому актуальным является вопрос обеспечения СКУ автономным стабильным источником электроэнергии.

Цель работы – разработать опытный образец установки выработки электроэнергии на основе элементов Пельтье, используя тепло котловой или сетевой воды.

Разрабатываемое изделие предназначено для установки на действующих, а также вновь монтируемых тепловых пунктах и водогрейных котельных в качестве источника питания для СКУ и зарядки источников бесперебойного питания. За основу изделия взята идея термоэлектрического генератор [1].

Основа термоэлектрической сборки – модуль Пельтье ТЕС-1-12706 40Х40 (ТВ 127-1.4-2.5), который является простейшим преобразователем тепловой энергии в электрическую.

При температуре горячей стороны 80°C и холодной стороны 20°C термоэлектрическая ячейка генерирует 0,023 В, в стандартном модуле Пельтье 127 ячеек, то есть ЭДС холостого хода примерно 3 В [2].

Разработанная схема изделия конструктивно представляет собой параллельно установленные теплообменные поверхности из квадратной трубы, сечением 20х40 мм, между ними устанавливаются в ряд термоэлектрические модули Пельтье. По нечётным трубам циркулирует охлаждающая вода, по чётным – нагревающая, таким образом стоящие между ними модули Пельтье с одной стороны нагреваются, с другой охлаждаются. При перепаде температур между нагреваемой и охлаждаемой сторонами 60-80°C и хорошо организованном теплообмене, модули согласно паспортным данным, вырабатывают постоянный электрический ток 3,7 А напряжением 16,3 В [3].

Общий вид установки представлен на рисунке 1. Греющая вода – это котловая или сетевая вода, охлаждающая вода может браться из разных источников в зависимости от тепловых схем объекта.

Так, например, на типовой газовой котельной, оборудованной дымогарно-жаротрубными котлами, воздух в цех подаётся приточной вентиляцией, снабженной калорифером для подогрева воздуха, а на котлах, оборудованных мощными промышленными горелками, воздух, подаваемый в топку, нагревается до 40°C калориферами, которые устанавливаются на всасе дутьевых вентиляторов.

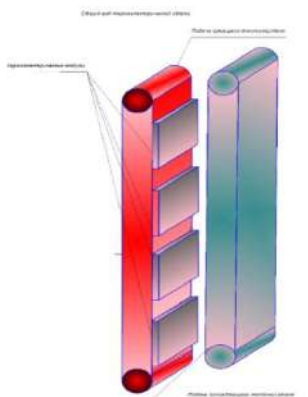


Рис. 1 - Общий вид термоэлектрической установки

Охлаждающий теплоноситель (тосол или антифриз) циркулирует через термоэлектрическую установку и охлаждает холодную сторону модулей Пельтье, и далее подаётся в первую ступень калорифера. Схема может быть с естественной или принудительной циркуляцией. Сам калорифер выполнен в две ступени: первая выполнена из поверхностей нагрева по которым циркулирует охлаждающая жидкость – эта ступень

Таблица 1 - Результаты испытаний

Соединение	Сила тока, мА	Напряжение, В	Мощность, Вт
Последовательное	0,08	3,7	0,296
Параллельное	0,009	2,45	0,022
Комбинированное	0,003	1,25	0,0038

Температура греющей воды во всех режимах на входе 70°C, на выходе 68°C. Заданная температура охлаждающей воды на входе 23°C, на выходе 22°C. Расход охлаждающей воды 0,18 м³/ч. За один час испытаний затраченная тепловая мощность 0,36 Вт, выработанная электрическая мощность 0,296 Вт.

На основе испытания прототипа термоэлектрической сборки можно сказать следующее:

1) наиболее выгодная схема на базе четырёх элементов - последовательное подключение (хватает мощности для работы вентилятора);

2) один элемент установки в условиях лаборатории низкое напряжение и слабую силу тока, для увеличения мощности нужно подключать больше модулей Пельтье;

3) установка обеспечивает стабильный нагрев горячей стороны модулей и стабильное охлаждение холодной стороны модулей, исключая их перегрев;

4) после отключения подачи горячего теплоносителя установка, остывая в течение 25 минут, продолжала вырабатывать электроэнергию 3В.

В целом испытания показали работоспособность прототипа. Предложенное решение позволит осуществить прямое преобразование тепловой энергии в электрическую и обеспечить бесперебойную работу СКУ.

Литература

1 Патент 2305347 С1 МПК H01L 35/30 (2006.01) Российская Федерация. Термоэлектрический генератор/ Ерофеев Р.С., Сгибнев И. В., Ржевский В. М., Терекнов А. Я., Ханнин Е.В. - №. – № 92006112777/28; заявл. 17.04.2006; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 24. – 7 с.: ил.

2 Романов К. В Моторин А. В Соломин Е. В. Моделирование термоэлектрического модуля Пельтье в режиме генерации электроэнергии в среде Anasysworkbench [Электронный ресурс] // Вестник магнитогорского государственного технического университета

им. Г. И. Носова – № 3. – 2025 – URL: <https://www.vestnik.magtu.ru> (дата обращения: 10.11.2025).

3 Шостаковский П. Термоэлектрические генераторы промышленного применения [Электронный ресурс] // Современная электроника – № 1. – 2016 – URL <https://www.cta.ru/articles/soel/2016/2016-1/4479/?ysclid=mhpbmdxo1831040975> (дата обращения: 12.11.2025).

РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ КОТЕЛЬНЫХ В МИНИ-ТЭЦ

Г. И. Грицив

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, gritsiv08@mail.ru**

Научный руководитель: Григорьева О. К., к.т.н., доцент

В статье исследуются возможности повышения эффективности локального энергоснабжения за счёт интеграции паровых турбин в структуру котельных. Показано, что использование теплоты отработанного пара позволяет существенно повысить эффективность котельной. На основе расчётов для котельной, работающей на торфе, установлено, что применение турбины с противодавлением снижает расход топлива на 30–36% в зависимости от температурного режима. Полученные результаты подтверждают целесообразность интеграции подобных решений в системы теплоснабжения с устойчивым тепловым графиком.

The article explores the possibilities of increasing the efficiency of local energy supply by integrating steam turbines into the structure of boiler houses. It is shown that utilizing the heat of exhaust steam can significantly increase boiler plant efficiency. Based on calculations for a peat-fired boiler house, it was found that the use of a back-pressure turbine reduces fuel consumption by 30–36%, depending on the temperature regime. The results obtained confirm the feasibility of integrating such solutions into heat supply systems with a stable heating schedule.

Децентрализованная генерация энергии приобретает все большее значение в современных энергосистемах, а мини-ТЭЦ играют ключевую роль в обеспечении эффективного локального энергоснабжения. Малая электроэнергетика России сегодня – это примерно 49000 электростанций (98,6% от их общего числа) общей мощностью 17 ГВт (8% от всей установленной мощности электростанций России), работающих как в энергосистемах, так и автономно. Общая годовая выработка электроэнергии на этих электростанциях достигает 5% от выработки всех электростанций страны. Если учесть приведенные данные, то средняя мощность малых электростанций составляет примерно 340 кВт [1].

Для котельных необходима электроэнергия, чтобы покрывать собственные нужды. Турбинная установка вырабатывает электроэнергию с КПД обычно составляющим 20-35%, при этом отработанное тепло часто бесполезно отводится в окружающую среду через системы охлаждения. Одновременно отдельные водогрейные котлы сжигают дополнительное топливо, чтобы произвести тепловую энергию для нужд отопления с КПД 80-90%. Такое функциональное разделение приводит к снижению общей эффективности системы, поскольку потенциал использования тепла, выделяемого при производстве электроэнергии, в значительной степени упущен. Однако такая конфигурация обеспечивает эксплуатационную гибкость, поскольку системы могут работать независимо от меняющихся потребностей в энергии.

Для повышения общей эффективности, предлагается встроить в котельную паровую турбину с противодавлением. Пример такого внедрения представлен на рисунке 1. При такой схеме пар вырабатывается в котле и затем направляется в турбину, а отработанный пар идёт в теплообменник для подогрева сетевой воды. Преимуществом таких станций заключается в ее значительно более высокой общей эффективности по сравнению с отдельным производством электроэнергии и тепла, и приводит к снижению расхода топлива.

Турбина с противодавлением подходит для работы по графику с относительно стабильным соотношением потребления тепла и электроэнергии, где ее интегрированная конструкция может обеспечить максимальную топливную экономичность. Это становится особенно актуальным для систем централизованного теплоснабжения, обслуживающих жилые или коммерческие районы с предсказуемыми сезонными потребностями в отоплении, промышленные объекты с постоянными технологическими потребностями в тепле.

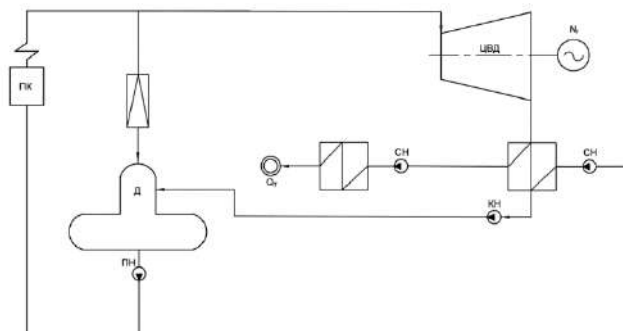


Рис. 1 – Тепловая схема мини-ТЭЦ с турбиной с противодавлением и водогрейным котлом: ПК – паровой котёл; ЦВД – цилиндр высокого давления паровой турбины; СН – сетевой насос; КН – конденсатный насос; Д – Деаэратор; ПН – питательный насос; $N_{Г}$ – генератор; $Q_{Т}$ – потребитель тепла

Конкретным примером реализации является проект для котельной 45-го квартала в Братске, где спроектирована мини-ТЭЦ на базе парового турбогенератора с противодавлением [2]. В этой котельной установлено три паровых котла КЕ-50-14-225, два водогрейных котла КВР-35-150 и водогрейный котел КВТС-30 работающие на угле, и для модернизации установили 2 турбины с противодавлением мощностью по 500 кВт. При анализе было посчитано, что дисконтированный срок окупаемости такой модернизации составит 7 лет.

Использование местных видов топлива из биомассы, представляет собой особенно перспективное направление для развития мини-ТЭЦ. Эти источники энергии приносят экономическую выгоды сельскому хозяйству и перерабатывающим предприятиям.

Заключение. В работе рассмотрено внедрение паровых турбин в котельную, работающую на торфе, когда стоит отдельная установка с конденсационной турбиной, а также надстройка турбины с противодавлением. По результатам расчётов было получено, что при различных температурах наружного воздуха применение схемы с паровой турбиной с противодавлением позволяет снизить расход топлива по сравнению с автономным циклом на 30–36%.

Литература:

1. Клевко А. Г., Дюбанов Г. Н. Перспективы развития для мини-тэц в Новосибирской области [Электронный ресурс] // Инфраструктурные

отрасли экономики: проблемы и перспективы развития. 2015. №9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-dlya-mini-tets-v-novosibirskoy-oblasti> (дата обращения: 23.11.2025).

2. Шакиров В. А. Опыт эксплуатации и анализ эффективности использования в котельной паровой турбогенераторной установки с противодавлением / В. А. Шакиров // Теплоэнергетика. – 2019. – № 2. – С. 24-31. – DOI 10.1134/S004036361902005X. – EDN YTIQUP.

3. Петрушенков В. А., Коршакова И. А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 5. С. 52-70. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-5-52-70.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОЗДУШНЫХ- КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Л. Е. Дьяченко, О. В. Боруш

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, levdiachenko@mail.ru**

Научный руководитель: Боруш О. В., д.т.н., профессор

В условиях растущего дефицита водных ресурсов усиливается интерес к конденсаторам пара с воздушным охлаждением. В работе приведен анализ факторов конструктивных параметров, оказывающих влияние на коэффициент теплопередачи воздушно-конденсационных установок.

With water resources becoming increasingly scarce, interest in air-cooled condensers is growing. This paper analyzes the impact of design parameters on the heat transfer coefficient of air-cooled condensing units.

Рост численности населения способствует активному развитию мировой энергетики, поскольку с увеличением количества людей возрастает и потребность в электроэнергии, необходимой для обеспечения комфортной жизни и функционирования экономики. Одним из ключевых направлений энергетического развития остаётся строительство тепловых электростанций (далее ТЭС), которые продолжают играть значительную роль в мировой энергетической системе. Несмотря на рост развития зелёной энергетики, доля электроэнергии, производимой за счёт ископаемого топлива, составляет около 67% [1].

Традиционно на станции применяются схемы с использованием воды для охлаждения отработавшего пара после турбины. По оценкам

экспертов в 2015 году общий мировой забор воды для производства электроэнергии на ТЭС составил порядка 500 км³, а водопотребление 25 км³. [2]

В России тариф на водопользование и водозабор ежегодно растет и в соответствии с постановлением Правительства РФ с 2026 года рост тарифа будет определяться с учетом фактического изменения цен на потребительские товары [3]. Таким образом затраты на водные ресурсы могут оказать существенное влияние на окупаемость вновь вводимых электрических станций.

Одним из способов уменьшения использования воды на ТЭС – установка воздушно-конденсационных установок (ВКУ). В России такое техническое решение было впервые применено на ТЭС «Ударная» ООО «ВО «Технопромэкспорт» расположенной в Краснодарском крае. [4]

Несмотря на преимущество воздушных систем конденсации, ввиду отсутствия потребления воды на охлаждение отработавшего пара, у них есть ряд ключевых проблем по сравнению с традиционными схемами:

- высокие капиталовложения вследствие высокой металлоемкости теплообменных поверхностей;
- снижение отпуска электроэнергии из-за повышения давления конденсации и более высоких собственных нужд, связанных с приводом вентиляторов.

С целью снижения капиталовложений и повышения отпуска электроэнергии при использовании ВКУ, необходимо повышать эффективность установки. Одним из критериев эффективности для ВКУ служит коэффициент теплопередачи, так как площадь теплообменной поверхности в установке кратно больше, чем в аналогичной установке с водяным охлаждением, даже незначительное увеличение теплопередачи может существенно повлиять на эффективность.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	Ед. изм	Значение
Расход пара в конденсатор	т/ч	174,1
Давление в конденсаторе	кПа	10
Температура окружающего воздуха	°С	15
Угол расположения опускных труб	град	45/var
Теплопроводность несущей трубы (сталь)	Вт/(м·К)	45,4/var
Теплопроводность оболочки (алюминий)	Вт/(м·К)	209,3/var
Теплопроводность внешнего слоя загрязнения [5]	Вт/(м·К)	0,35
Толщина внешнего слоя загрязнения [5]	мм	0,2/var

График зависимости коэффициента теплопередачи представлен на рисунке 1.

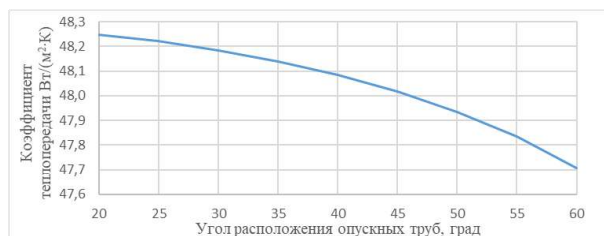
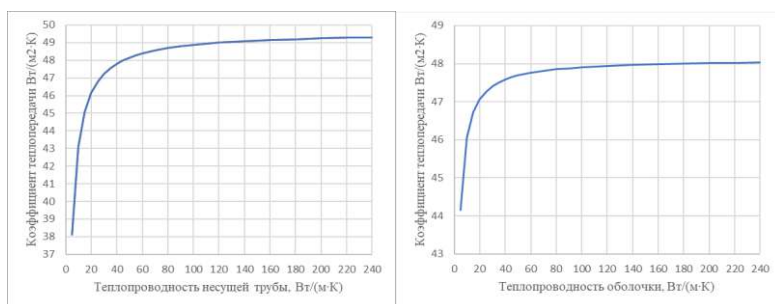


Рис.1 – Зависимость коэффициента теплопередачи от угла расположения опускных труб

По полученным значениям видно, что наибольший коэффициент теплопередачи достигается при наименьшем угле расположения опускных труб, однако диапазон изменения составляет от 0,1 до 0,5 $Вт/(м^2 \cdot К)$, что достаточно незначительно и такой оптимизацией можно пренебречь, в пользу других технических решений.

Трубы воздушно-конденсационных установок выполнены с оребрением, за счет наплавки ребер на несущую трубу. Навивка ребер на несущую трубу позволяет кратно увеличить площадь поверхности теплообмена, без кратного увеличения металлоемкости конструкции. Зависимость коэффициента теплопередачи от теплопроводности элементов оребренных труб представлена на рисунке 2.



а

б

Рис. 2 – Зависимость коэффициента теплопередачи от теплопроводности материалов труб. а – теплопроводность несущей трубы, б – теплопроводность оболочки

Исходя из полученного графика (рисунок 2 (а)) можно сделать вывод о том, что наибольшее увеличения коэффициента теплопередачи достигается при теплопроводности несущей трубы в диапазоне 40...50 Вт/(м·К). Дальнейшее повышение теплопроводности не обеспечивает интенсивного увеличения теплопередачи. Так как несущие трубы несут постоянную нагрузку, выбор материалов для их изготовления ограничен прочностными характеристиками.

Полученная зависимость (рисунок 2 (б)) аналогична представленной на рисунке 2 (а), но диапазон изменения коэффициента теплопередачи заметно меньше (11,2 Вт/(м²·К) против 3,9 Вт/(м²·К)). Однако оболочка оребренных труб не несет постоянных нагрузок и как следствие её можно выполнить из менее прочного материала. Традиционно оболочку изготавливают из алюминия.

Так как воздушно-конденсационные установки расположены на улице, возникает проблема, связанная с загрязнением теплообменных поверхностей пылью, продуктами цветения и насекомыми. Загрязнение может привести к значительному уменьшению теплового потока при постоянном расходе воздуха [5, 6].

Заключение: наименьшее влияние на коэффициент теплопередачи оказывает угол расположения опускных труб. Выбор материалов для изготовления оребренных труб является сложной технико-экономической задачей, в которой необходимо учесть не только теплопроводность материала, а еще металлоёмкость и требуемые прочностные характеристики. Для поддержания проектной эффективности ВКУ необходимо поддерживать чистоту теплообменных поверхностей, с целью избежать ухудшения работы.

Литература:

1. IEA. World Energy Outlook 2024 [Electronic resource] / International Energy Agency. — Paris: IEA, 2024. — URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (accessed: 03.10.2025).

2. Lohrmann A. et al. Global scenarios for significant water use reduction in thermal power plants based on cooling water demand estimation using satellite imagery // Nature Energy. – 2019. – Vol. 4. – Iss. 12. – P. 1040-1048.

3. Правительство Российской Федерации. Постановление от 26 декабря 2014 г. № 1509 «О ставках платы за пользование водными объектами, находящимися в федеральной собственности, и внесении изменений в раздел I ставок платы за пользование водными объектами, находящимися в федеральной собственности» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2015. – № 1 (ч. I). – 264 с.

4. ООО «ИнтерЭнерго». Проект «Ударная» [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.interenergo.info/projects/udarnaya/> (дата обращения: 03.10.2025).

5. Рудин М. Г. Карманный справочник нефтепереработчика / М. Г. Рудин. — 2004. — 336 с.

6. Влияние внешнего загрязнения на эффективность теплообменных аппаратов воздушного охлаждения / В.И. Володин, В.Б. Кунтыш, Н.Н. Петреева, А.Н. Бессонный, Е.А. Бессонный // Минский международный форум по тепломассообмену ММФ-XIV. — 2012. — Т. 235.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СБР

Ю. В. Живоглазова

Алтайский государственный технический университет

им. И. И. Ползунова,

г. Барнаул, yulia.jivoglazova@yandex.ru

Научный руководитель: Хуторненко С. Н., к.т.н., доцент

В статье рассматривается острая проблема загрязнения окружающей среды тепловыми электростанциями (ТЭС), связанной с выбросами большого количества вредных веществ, таких как оксиды азота (NO_x), серы (SO_x), углерода (CO и CO_2), твердых частиц и прочих токсинов, образующихся при сжигании традиционных видов топлива — угля и мазута. Особенностью ситуации является значительная доля загрязнений, возникающих на начальном этапе работы котлов при использовании мазута в качестве растопочного топлива. Приводится пример успешной реализации проекта на Красноярской ТЭЦ-1, где установлено оборудование нового поколения с системой безмазутного розжига, что позволило достигнуть значимых результатов по улучшению экологии и экономических показателей станции.

The article discusses the acute problem of environmental pollution caused by thermal power plants (TPPs), which are associated with the release of large amounts of harmful substances such as nitrogen oxides (NO_x), sulfur oxides (SO_x), carbon oxides (CO and CO_2), particulate matter, and other toxins that are produced during the combustion of traditional fuels such as coal and fuel oil. A distinctive feature of this situation is the significant amount of pollution that occurs during the initial stage of boiler operation when fuel oil is used as a starting fuel. The article provides an example of the successful implementation of a project at Krasnoyarsk CHPP-1, where new-generation equipment with a fuel-free ignition system was installed, resulting in significant improvements to the station's environmental and economic performance.

Выбросы загрязняющих веществ тепловыми электрическими станциями (ТЭС) продолжают оставаться значимой экологической

проблемой современной энергетики. Эксплуатация современных ТЭС предусматривает ежедневное использование значительных объемов традиционных видов топлива, включая уголь и мазут, в топочных устройствах паровых котлов с целью выработки электроэнергии и тепла. Процесс сгорания указанных топлив сопровождается образованием широкого спектра токсичных веществ, среди которых выделяются оксиды азота (NO_x), серы (SO_x), углерода (CO и CO_2), тяжелые углеводороды, сажа и прочие вредные химические соединения, поступающие непосредственно в окружающую среду.

Таблица 1– Прогноз потребности ТЭС России в органическом топливе [4]

Прогноз по годам	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Потребность ТЭС в топливе, тыс. т. у.т	279 529	289 643	302 984	305 454	313 110	312 649	315 613
из них: газ	199 492	208 474	215 265	217 073	223 768	222 792	226 259
нефтетопливо	1 087	1 087	1 110	1 120	1 130	1 125	1 129
уголь	66 659	67 467	73 793	73 687	74 581	75 029	74 469
прочее топливо	12 292	12 615	12 817	13 574	13 631	13 703	13 755

Особое внимание привлекает высокая интенсивность выбросов загрязняющих веществ в период пуска котла, когда применяется растопочное топливо — мазут. В процессе розжига котлов наблюдается значительное выделение специфического тёмного дыма, содержащего повышенные концентрации частиц сажи и других химически соединений, представляющих потенциальную угрозу состоянию окружающей среды. Согласно актуальным исследованиям, доля эмиссий, возникающая именно на этапе начального разогрева оборудования, составляет существенную долю суммарных годовых объёмов загрязнений. Причина столь высоких показателей заключается в увеличенном содержании сернистых соединений в мазуте, способствующих росту уровня вредоносных выбросов примерно на 30...40%.

Современные тенденции ужесточения экологических норм, сопровождающиеся внедрением всё более строгих нормативных

требований, ставят перед предприятиями теплоэнергетики серьёзную проблему дальнейшего использования мазута в качестве растопочного топлива. Таким образом, исключение применения мазута на стадии запуска котла представляется приоритетной задачей, направленной на повышение общей экологической устойчивости функционирования ТЭС.

**Таблица 2 – Технологические показатели выбросов
загрязняющих веществ [3]**

Маркерн ые загрязня ющие вещества	Ввод оборудования в эксплуатацию		
	до 31.12.2000	с 01.01.2001 по 31.12.2025	с 01.01.2026
NOx	БУ (ТШУ/ЖШУ): 600/800 КУ (ТШУ/ЖШУ): 800/1000	БУ (ТШУ/ЖШУ): 500/500 КУ (ТШУ/ЖШУ): 550/650	БУ (ТШУ/ЖШУ): 300/300 КУ (ТШУ/ЖШУ): 470/640
SO2	Sr <= 0,5%: 1400 Sr > 0,5%: 3000	Sr <= 0,5%: 700 Sr > 0,5%: 1400	Sr <= 0,5%: 700 Sr > 0,5%: 1400
Зола твердого топлива	Для котлов с входной тепловой мощностью менее 500 МВт (паропроизводит ельностью менее 670 т/ч) при: Ar < 10%: 600; 10 <= Ar <= 20%: 600 - 900 <u><5></u> ; Ar > 20%: 900 Для котлов с входной тепловой мощностью от 500 МВт и более (паропроизводит ельностью от 670 т/ч и более) при:	Для котлов с входной тепловой мощностью менее 500 МВт (паропроизводит ельностью менее 670 т/ч): 250 Для котлов с входной тепловой мощностью от 500 МВт и более (паропроизводит ельностью от 670 т/ч и более): 150	Для котлов с входной тепловой мощностью менее 300 МВт (паропроизводит ельностью менее 420 т/ч) при: Ar < 10%: 150 10 <= Ar <= 20%: 150 - 250 <u><5></u> ; Ar > 20%: 250 Для котлов с входной тепловой мощностью от 300 МВт и более (паропроизводит ельностью от 420 т/ч и более) при:

Продолжение таблицы

	Ar < 30%: 250 Ar >= 30%: 800		Ar < 10%: 50 10 <= Ar <= 20%: 50 - 150 <u><5></u> ; Ar > 20%: 150
СО	ТШУ: 400 ЖШУ: 300	ТШУ: 400 ЖШУ: 300	ТШУ: 400 ЖШУ: 300

Выбросы вредных веществ от ТЭС негативно сказываются на состоянии здоровья, провоцируя раздражения слизистых оболочек и дыхательной системы, снижение легочной функции, прогрессирование хронических болезней органов дыхания, а также существенно увеличивая вероятность развития воспалительных процессов. Помимо прямого воздействия на организм человека, оксид азота выступает катализатором формирования кислотных дождей, оказывая разрушительное влияние на растения, ускоряя коррозионные процессы строительных конструкций и ухудшая качественные характеристики почвы и водных объектов.

Таблица 3 – Фактические и ожидаемые объемы выбросов нормируемых загрязняющих веществ ТЭС, млн. [3]

Наименование	2014 г факт	2021г. факт	2025г.	2030г.
Загрязняющие вещества, всего	2,725	1,924	2,163	2,311
твердые частицы (зола)	0,690	0,387	0,451	0,463
диоксид серы (SO ₂)	1,098	0,717	0,794	0,863
оксиды азота (NO)	0,937	0,820	0,918	0,985
Парниковые газы диоксид углерода (CO ₂)	570	573	639	698

Процесс воспламенения угольной пыли характеризуется повышенной температурой и длительным временем индукционного периода относительно газозвушных смесей и мазута. Вследствие этого, традиционная практика предполагает применение мазута в качестве вспомогательного топлива для розжига пылеугольных котлов, что позволяет обеспечить стабильное протекание процесса горения. Однако

совместное сжигание угля и мазута оказывает негативное влияние на экологические и экономические показатели эксплуатации энергоблоков. Ежегодный объем потребления мазута в мировом масштабе достигает десятков миллионов тонн, при этом отмечается ухудшение эффективности горения: возрастает коэффициент недожога топлива на 10...15%, уменьшается общий КПД установок на 2...5%, усиливается скорость коррозионных процессов, увеличивается уровень выбросов NO_x и SO_x на 30...40% и формируются дополнительные загрязнения, включая канцерогенные вещества типа пентавалентного оксида ванадия.

Для решения проблемы устойчивого воспламенения угольных пылевых потоков перспективным методом выступает использование плазменных технологий. Применение плазмотронов, генерирующих низкотемпературную плазму, способствует предварительной термохимической подготовке топлива путем разрушения крупных агломератов угольного порошка и интенсификации реакций газификации. Образующаяся плазма инициирует увеличение химической активности частиц угля, повышает эффективность процесса смешивания с кислородом воздуха и ускоряет образование высокотемпературных очагов горения. Использование плазмотрона совместно с муфельной камерой позволяет стабильно запустить процесс самоподдерживающегося горения смеси угольной пыли и воздуха, обеспечив надежный и экологически безопасный розжиг котла.

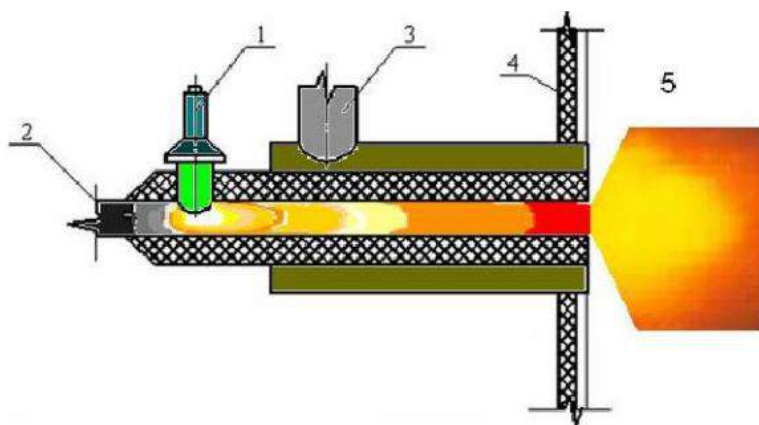


Рис.1– Принципиальная схема плазменной технологии растопки пылеугольных котлов: 1 – плазмотрон; 2 – аэросмесь; 3 – вторичный воздух; 4 – стенка топki котла; 5 – топка [3]

Применение плазменных технологий представляет собой эффективный метод снижения уровней загрязнения атмосферы благодаря проведению предварительных термохимических преобразований топлива в условиях температурного диапазона 900–1300 °С. В результате обработки в плазме исходная смесь угольной пыли и воздуха трансформируется в высокоактивное двухфазное топливо, состоящее из горючих газов и коксового остатка. Эти компоненты, попадая в камеру сгорания котла, вступают в реакцию с вторичным воздухом, приводя к практически мгновенному samozажиганию и обеспечению полного и равномерного горения. Подобный механизм существенно снижает степень неполного окисления топлива, уменьшает концентрацию выбрасываемых оксидов азота на 40–50 % по сравнению с традиционной технологией мазутного розжига. Дополнительно образующиеся в плазме свободные радикалы и атомы активируют цепные реакции, замедляя формирование диоксида серы и сокращая выбросы пятиоксида ванадия.

Практическое внедрение данной технологии было осуществлено на Красноярской ТЭЦ-1, имеющей тепловую мощность 1677 Гкал/ч и электрическую мощность 485,9 МВт, работающую на буром угле Бородинского месторождения. Модернизационные мероприятия предусматривали установку новых котлов модели ПК-154, оснащённых системами безмазутного розжига (СБР), позволяющими исключить необходимость использования дорогостоящих и экологически небезопасных растопочных видов топлива, таких как мазут. Новые агрегаты функционируют надёжно и эффективно в широком диапазоне рабочих нагрузок от 50 до 100 %, сохраняя заданные значения параметров пара. Запуск котлов осуществляется посредством подачи подготовленного угольно-пылевого состава через специальные форсунки с применением плазменно-запальных устройств (ПЗУ).

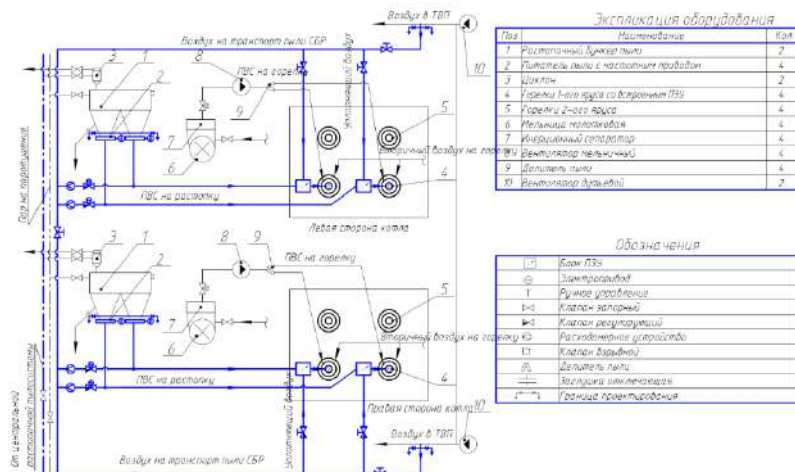


Рис. 2–Система безмазутной растопки котла ПК-154[1]

В ходе испытаний были обнаружены и оперативно устранены отдельные технические проблемы, связанные с организацией подачи топлива и оптимизацией характеристик аэродинамических полей внутри камеры сгорания. Благодаря проведённым доработкам достигнуто существенное улучшение стабильности и надёжности процессов горения. Современная система мониторинга состояния пламени включает элементы видеонаблюдения и автоматизированного управления режимами розжига. Комплексный подход к проектированию и реконструкции действующих мощностей обеспечил успешную интеграцию инновационных решений в существующую инфраструктуру предприятий теплоэнергетики.



Рис.3 – Камера видеонаблюдения: 1 – обзор камеры видеонаблюдения;
2 – камера видеонаблюдения [1]

АО «ЗиО» впервые в России разработала и поставила систему безмазутного розжига для промышленных энергоустановок. Использование этой технологии помогает меньше тратить дорогой мазут, уменьшить выбросы и сделать тепловые комплексы более эффективными. Опытные образцы показали хорошие экономические и экологические результаты. Полный отказ от мазута при запуске значительно уменьшает вредные выбросы, снижает затраты на покупку, доставку и хранение этого топлива. Испытания на Красноярской ТЭЦ-1 показали, что у российских разработок есть большой потенциал, и этот опыт можно применять на других предприятиях. На основе полученных данных рекомендуется шире использовать системы безмазутного розжига в проектах, направленных на энергосбережение и снижение вредного воздействия на природу. Переход на безмазутный розжиг важен для развития российской теплоэнергетики, так как позволяет беречь природу и улучшать производственные показатели. Важно продолжать исследования, чтобы лучше понимать технологические процессы, а также разрабатывать комплексные подходы к управлению качеством воздуха и экономии ресурсов в промышленности.

Литература:

1. Квривишвили А. Р., Барташук Е. Г., Бердников Р. А., Самохин С. А., Кармышева Н. А. Первые результаты пусконаладочных работ котла ПК-154 с системой безмазутной растопки (СБР) на

Красноярской ТЭЦ-1 / А. Р. Квривишвили, Е. Г. Барташук, Р. А. Бердников, С. А. Самохин, Н. А. Кармышева [Текст] // II Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные вопросы эксплуатации котлов ТЭС: проблемы и пути их решения». — М.: ВТИ, 2025. — С. 15-38.

2. Третьяков А. Н. О влиянии на атмосферу предприятий теплоэнергетического комплекса [Электронный ресурс] / А. Н. Третьяков, Е. В. Перегудина, С. В. Азарова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 11 (91). — С. 562-566. — URL: <https://moluch.ru/archive/91/19248> (дата обращения: 21.11.2025).

3. ИТС 38-2024 «Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии» от 23.12.2024 № № 3041 // МЕГАНОРМ Система нормативных документов. — 2024.

4. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении правил разработки и утверждения документов перспективного развития электроэнергетики, изменении и признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов правительства Российской Федерации» от 30.12.2022 № №2556 // Официальный интернет-портал правовой информации. — 2022.

5. Салова Е. С. Существующие проблемы при сжигании мазута / Е. С. Салова, Е. А. Бирюзова. — Текст: непосредственный // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых (Екатеринбург, 17–20 декабря 2013 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2013. — С. 181-182.

РАЗРАБОТКА МНОГОКРАТНОГО ПРОМПЕРЕГРЕВА РАБОЧЕГО ТЕЛА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИЛОВЫХ ЦИКЛОВ ТЭС

Ф. Н. Складаров

Алтайский государственный технический университет

им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, filipp230699@mail.ru

Научный руководитель: Пузырёв Е. М., д.т.н., доцент

В статье рассмотрены способы осуществления промперегрева. Предложены конструкции устройств, позволяющих осуществить многократный промперегрев рабочего тела. Поставлены задачи дальнейших исследований технологии многократного промперегрева. Выделены

перспективные схемы ТЭС с многократным промперегревом, которые требуют дальнейшего подробного исследования.

The article considers methods for implementing reheating. It proposes designs of devices that allow for multiple reheating of the working fluid. The article sets out the objectives of further research into technology of multiple reheating. It highlights promising TTP schemes with multiple reheating that require further detailed investigation.

Наиболее актуальными задачами современной энергетики являются увеличение эффективности выработки электроэнергии, улучшение экологических показателей и снижение затрат электростанций.

Промперегрев (ПП) рабочего тела является одним из основных способов увеличения тепловой эффективности ТЭС. ПП применяется на мощных конденсационных паровых ТЭС, работающих по циклу Ренкина, при этом он выполняется в промперегревателях, расположенных в паровом котле. Этот способ осуществления ПП имеет ряд недостатков: высокие потери давления; необходимость применения дорогостоящих легированных сталей для изготовления паропроводов от промперегревателя к турбине и выходных ступеней промперегревателя; ограничение температуры промперегрева температурой пара, при которой могут работать пароперегреватели.

Способом преодолеть вышеуказанные недостатки является осуществление ПП огневым (контактным) способом, когда продукты сгорания топлива смешиваются с рабочим телом и подогревают его таким образом в специальных дополнительных камерах сгорания (КС). Т.к. КС являются достаточно громоздкими и сложными, то применение каждой новой ступени огневого ПП приводит к необходимости либо увеличивать количество корпусов турбин, либо значительно усложнять конструкцию корпуса, а также приводит к увеличению длины ротора. Продольный разрез газовой турбины Alstom GT26 со сложным корпусом, в котором расположены две КС [1] показан на рисунке 1.

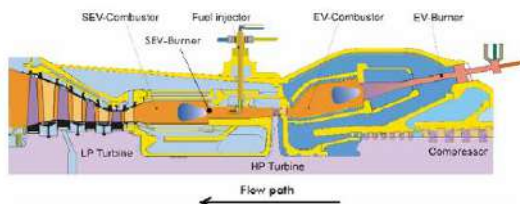


Рис. 1 – продольный разрез турбины Alstom GT26

Замена небольшого количества огневых ПП большим количеством перегревов с меньшим количеством теплоты в каждом позволит увеличить КПД. Эту задачу можно решить, расположив либо внутри

сопловых лопаток турбины, либо непосредственно в сопловых каналах ступени расширения устройства ПП, представляющие собой микрокамеры сгорания. Микрокамеры подключены к системам подачи топлива, окислителя и искры в том случае, если они расположены внутри сопловых лопаток. Если же микрокамеры расположены в сопловом канале, то они могут не иметь систем подачи искры и окислителя. Изображение сопловых лопаток 1 и микрокамер сгорания 2 по патенту [2] показано на рисунке 2, и схема с факелом 1 в сопловом канале 2 между сопловых лопаток 3 по патенту [3] показана на рисунке 3.

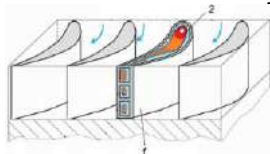


Рис. 2 – Сопловая лопатка со встроенной микрокамерой сгорания

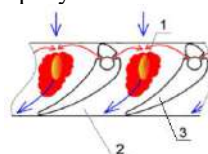


Рис. 3 – Схема с камерой сгорания в сопловом канале

Для всесторонней оценки устройств ПП, необходимо выполнить ряд исследований: расчет термодинамических циклов с выбором оптимальных технологических схем, параметров и рабочих тел; тепловой и конструктивный расчет ступеней турбины с устройствами ПП; расчет горения в микрокамерах сгорания при помощи инструментов CFD-моделирования; оптимизация конструкции в соответствии с результатами исследований; расчет экономической эффективности. В данном исследовании целью является выбор наиболее перспективных технологических схем для дальнейшего рассмотрения.

Одними из наиболее перспективных схем являются бинарные ПГУ с котлом-утилизатором [4] с применением многократного ПП в высокотемпературной газовой части. В таких схемах ПГУ в качестве окислителя могут использоваться кислород либо воздух, при этом при использовании кислорода выбросы NO_x отсутствуют [5]. Однако в схемах с кислородным сжиганием появляется необходимость во впрыске пара или воды в первую КС ГТ либо в использовании рециркулирующих газов для снижения температуры. Кроме того, схемы, в которых используется кислород в качестве окислителя, могут быть оснащены насосами и многоступенчатыми компрессорами с промежуточным охлаждением (МКПО) для сжатия CO_2 , чтобы отделить и сконденсировать водяной пар, и организовать производство электроэнергии без вредного экологического воздействия [6].

Таким образом можно выделить три разных варианта схем бинарных ПГУ с многократным ПП, которые требуют подробного рассмотрения:

1) Схема бинарной ПГУ, в которой в качестве окислителя применяется воздух. Основные преимущества данной схемы заключаются в простоте конструкции и возможности использовать отработанные технические решения.

2) Схема бинарной ПГУ, в которой в качестве окислителя применяется кислород и используется рециркуляция уходящих газов. За счет уменьшения объема окислителя уменьшается работа компрессора и его размер. Однако применение данной схемы требует использования кислородной станции.

3) Схема бинарной ПГУ, в которой в качестве окислителя применяется кислород, а уходящие газы котла утилизатора направляются сначала в МКПО, где сконденсировавшаяся вода отделяется, а CO_2 затем сжимается в насосе и отправляется на захоронение, дальнейшее использование и на рециркуляцию. Кроме необходимости применять кислородную станцию, в данной версии бинарной ПГУ появляется необходимость применения компрессора и насоса для сжатия CO_2 , что увеличивает затраты на производство энергии, а также снижает термодинамическую эффективность цикла.

Бинарные ПГУ получили широкое распространение и позволяют даже без применения ПП получить высокий КПД, который для новейших ПГУ бинарного типа может достигать 58-60 % [7].

Другой группой схем ТЭС, которая требует рассмотрения являются схемы, в которой в качестве рабочего тела используются смесь продуктов сгорания и подогретого в рекуператоре рециркулирующего агента (РА). В качестве этого РА может использоваться вода, либо как в цикле Аллама может применяться CO_2 [8-10], а в цикле MATIANT используется смесь, состоящая из CO_2 и небольшой доли водяного пара [6]. Главное преимущество воды в этом качестве заключается в том, что затраты работы на сжатие воды значительно меньше, чем при сжатии газообразного рабочего тела. Применение CO_2 в качестве рабочего тела позволяет уменьшить массогабаритные характеристики по сравнению с паровыми и газовыми турбинами [8], кроме того, при использовании МКПО возможно добиться сжижения РА CO_2 , что позволит частично использовать для повышения давления насосы вместо компрессоров (такая схема сжатия CO_2 применена в цикле MATIANT [6] и цикле Аллама [8-10]). Таким образом для этих циклов применение высоких степеней сжатия представляется обоснованным, поэтому логично также уменьшить расход работы на сжатие окислителя используя кислородную станцию, тем более что в таком случае улучшаются экологические показатели. Для улавливания CO_2 возможно использовать МКПО и насосы.

Исходя из вышесказанного, а также анализируя уже существующие схемы кислородно-топливных циклов с рециркуляцией воды и CO_2 (таких как CES цикл [6], MATIANT цикл, цикл Аллама и другие) можно представить схемы ТЭС с одной турбиной и многократным ПП, которые кажутся наиболее перспективными:

1) Кислородно-топливный цикл с рекуператором, конденсатором и КС, где РА является вода.

2) Тоже, что в 1), но CO_2 после отделения от воды в конденсаторе направляется в МКПО и насос, и отправляется на захоронение или потребителю.

3) Кислородно-топливный цикл с рекуператором и КС, где РА является CO_2 , который после отделение воды и излишков CO_2 сжимается сначала в МКПО, а затем в насосе.

4) Тоже, что в 3), но излишки CO_2 сжимаются в МКПО, а затем в насосе и отправляются потребителю или на захоронение.

Выводы:

I. Технология огневого (контактного) многократного промперегрева может быть использована для повышения эффективности ТЭС.

II. Предложенные конструкции микрокамер сгорания в ступенях расширения могут быть использованы для осуществления схем энергоблоков ТЭС с многократным ПП, при этом решаются ряд технических проблем, характерных для других способов осуществления огневого (контактного) ПП.

III. Определены необходимые дальнейшие исследования для оценки применимости технологии многократного ПП при помощи микрокамер сгорания в ступенях расширения.

IV. Определены наиболее перспективные технологические схемы ТЭС с многократным ПП, которые включают схемы бинарных ПГУ и схемы с одной турбиной.

Литература:

1. Riccius O., Smith R., Güthe F., Flohr P. The GT24/26 combustion technology and high hydrocarbon (“C2+”) fuels, Proceedings of ASME Turbo Expo 2005 Power for Land, Sea and Air, Reno, USA, 2005.

2. Паровая турбина. Полезная модель №222049 РФ: МПК F01K 21/04/ Пузырев Е.М., Скляров Ф.Н.; Патентообладатели Пузырев Е.М., Скляров Ф.Н. // №2023123848, заявл. 15.09.2023, опубл. 07.12.2023 Бюл. №34.

3. Газовая турбина. Полезная модель №237032 РФ: МПК F02C 3/14/ F02C 6/00 F02C 7/22/ Пузырев Е.М., Скляров Ф.Н.; Патентообладатели Пузырев Е.М., Скляров Ф.Н. // № 2025111326, заявл. 30.04.2025, опубл. 04.09.2025 Бюл. №25.

4. Боруш О. В., Григорьева О. К. Парогазовые установки, учебное пособие, Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.

5. Термодинамический анализ полужакрытых циклов с кислородным сжиганием топлива и углекислотно-паровым теплоносителем / В.О. Киндра, И.И. Комаров, С.К. Осипов, О.В. Злышко, В.Ю. Наумов // Известия РАН. Энергетика. – 2023, №3.

6. Gou C., Cai R., Hong H. An advanced oxy-fuel power cycle with high efficiency, 2006, Proc. IMechE Vol.220 Part A: J. Power and Energy, 2006.

7. Жавино К. В., Хомич В. В. Современные мировые тенденции повышения эффективности газотурбинных установок // Актуальные проблемы энергетики: материалы 65-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Минск: БНТУ, 2013.

8. Киндра В. О. Современная теплоэнергетика: перспективные ТЭС с минимальным углеродным следом [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.chsu.ru/upload/medialibrary/275/yandex.ru> (дата обращения: 25.11.2025).

9. Садкин И. С., Щинников П. А. Термодинамические, энергетические и экономические оценки генерации электроэнергии на основе CO₂ циклов // Современные проблемы теплофизики и энергетики: материалы IV международной конференции, Москва, 2024.

10. Алексеенко С. В., Щинников П. А., Садкин И. С. Влияние термодинамических параметров на энергетические характеристики CO₂-циклов при кислородном сжигании метана // Теплофизика и аэромеханика, 2023, том 30, №1.

СО₂-ЦИКЛ С ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ: РАСЧЁТ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

А. П. Тамаренко, М. Е. Таценко

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, artem.tamarenko@cotes-e.ru

Научный руководитель: Щинников П. А. д.т.н., профессор

В работе представлен термодинамический анализ энергетической установки на основе углекислотного цикла с двухступенчатым подводом теплоты к рабочему телу. Исследование направлено на повышение термической эффективности цикла за счёт оптимизации параметров промежуточного перегрева. Разработана методика расчёта, основанная на определении термического коэффициента полезного действия с учётом образования водяных паров при сжигании метана в кислороде. Проведены расчёты для диапазонов

давлений и температур, характерных для сверхкритических состояний диоксида углерода.

The review presents a thermodynamic analysis of a power plant based on a carbon dioxide cycle with a two-stage heat supply to the working fluid. The research is aimed at increasing the thermal efficiency of the cycle by optimizing the parameters of intermediate overheating. A calculation method has been developed based on determining the thermal efficiency factor, taking into account the formation of water vapor during the combustion of methane in oxygen. Calculations have been performed for pressure and temperature ranges characteristic of supercritical states of carbon dioxide.

Сокращение углеродных выбросов остаётся приоритетом развития мировой энергетики [1][2]. Несмотря на рост доли возобновляемых источников, большинство установок всё ещё функционирует на основе органического топлива. Одним из перспективных направлений снижения углеродного следа является использование углекислого газа в качестве рабочего тела в энергетических циклах. Такие схемы позволяют реализовать замкнутый контур, исключая выбросы CO_2 в атмосферу, и обеспечить высокий термический КПД благодаря сверхкритическим параметрам рабочего тела [4].

Наибольшее внимание привлекают модификации цикла Аллама, в которых применяется сжигание метана в кислороде и последующее использование CO_2 в замкнутом цикле. Развитие этих технологий требует уточнения влияния параметров подвода теплоты и давления на эффективность установки.

Мировые и отечественные работы последних лет указывают на потенциал сверхкритических CO_2 -циклов в установках с нулевыми выбросами [3][5]. Исследователи МЭИ, ОИВТ РАН и НГТУ развивают модели, учитывающие многоступенчатое сжатие, регенерацию и перегрев рабочего тела [6]. Однако вопросы влияния параметров промежуточного перегрева и распределения теплоты между камерами сгорания остаются недостаточно изученными.

Предыдущие расчёты показали, что ступенчатое повышение давления в CO_2 -цикле повышает его термодинамическую эффективность. Следующим этапом стало исследование возможности увеличения КПД за счёт ступенчатого подвода теплоты, что требует уточнённой методики расчёта и анализа чувствительности цикла к изменениям температурных и давленческих параметров.

В проведённой работе предложена установка с двумя камерами сгорания: высокого и низкого давления. Рабочее тело — углекислота, нагреваемая продуктами сгорания метана в кислороде. После расширения в турбине высокого давления смесь поступает во вторую камеру, где подводится дополнительная теплота.

Методика основана на определении термического КПД по соотношению располагаемого теплоперепада, работы сжатия и подведённой теплоты. Учтено образование водяных паров и их влияние на энтальпию рабочего тела. Свойства веществ определялись с помощью CoolPack и WaterSteamPro.

Результаты расчётов показали, что двухступенчатый подвод теплоты обеспечивает рост термодинамической эффективности установки по сравнению с одноступенчатым вариантом. Существенное влияние оказывают давление промежуточного перегрева и распределение долей теплоты между камерами сгорания. Рост температур подвода также способствует увеличению КПД при сохранении допустимых нагрузок на оборудование.

Таким образом, можем сделать вывод, что исследование углекислотных энергетических циклов с двухступенчатым подводом теплоты представляет значительный интерес для решения задач декарбонизации современной энергетики. Реализация подобных схем позволяет повысить термодинамическую эффективность установки и снизить углеродный след без изменения топливной базы. Установки, работающие на таких циклах, при дальнейшем развитии исследований и совершенствовании технологических решений, могут стать конкурентоспособной альтернативой существующим энергоустановкам на органическом топливе и обеспечить переход к энергетике с нулевыми выбросами.

Литература:

1. IEA, Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021, 2021 [Electronic resource]. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2> (accessed: 21.01.2025).
2. IPCC, 2018. Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways. – 2018. [Electronic resource] – URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (accessed: 01.11.2025).
3. Rogalev, A., Grigoriev, E., Kindra, V., Rogalev, N. Thermodynamic optimization and equipment development for a high efficient fossil fuel power plant with zero emissions, J. Clean. Prod., 2019, vol. 236, art.no.117592. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.067>.
4. Sinkevich M., Kosoy A., Popel O. Comparative analysis of the Allam cycle and the cycle of compressorless combined cycle gas turbine unit, E3S Web of Conferences, 2020, vol. 209, art.no. 03023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020903023>.

5. Алексеенко С. В., Щинников П. А., Садкин И. С. Влияние термодинамических параметров на энергетические характеристики CO_2 -циклов при кислородном сжигании метана, Теплофизика и Аэромеханика, 2023, том 30, № 1, С. 111-121.

6. Садкин И. С., Щинников П. А. Влияние промежуточной регенерации на эффективность энергетических CO_2 циклов с двухступенчатым подъемом давления // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: материалы 16 междунар. науч.-техн. конф. «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов», Саратов, 11–13 окт. 2022 г. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2022. – Вып. 11. – С. 206–212. ISBN 978-5-7433-3528-2.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВОДЯНЫХ ПАРОВ В СИНТЕЗ-ГАЗЕ НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ CO_2 -ЦИКЛА АЛЛАМА С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЯ

М. Е. Таценко, А. П. Тамаренко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, tatsenko2010@yandex.ru**

Научный руководитель: Щинников П. А., д.т.н., профессор

Рассмотрено влияние водяных паров в синтез-газе на термодинамические параметры CO_2 – цикла Аллама с внутрицикловой газификацией угля.

The influence of water vapor in synthesis gas on the thermodynamic parameters of the CO_2 -cycle of the Allam with in-cycle coal gasification is considered.

Для безуглеродного развития энергетики предлагаются новые термодинамические циклы, направленные на повышение эффективности генерации энергии и снижение выбросов парниковых газов [1]. Одним из таких циклов является цикл Аллама-Фетведта — это новейшая технология производства электроэнергии на синтез-газе, полученном в результате газификации угля [2]. В предыдущих работах [3] был произведен общий анализ термодинамической эффективности CO_2 -цикла. В данной статье рассматривается влияние содержания водяных паров в рабочем теле на различные термодинамические показатели CO_2 -системы, а также сделан окончательный выбор оптимального состава синтез-газа на основе полученных результатов с помощью методики, описанной в работе [4].

С увеличением H_2 в синтез-газе растет его калорийность и увеличивается доля водяных паров в рабочем теле, что ведет к увеличению энтальпии (h_5) на входе в КС (камеру сгорания) и

возрастанию термическому КПД. График зависимости энтальпии на входе в КС с учетом количества водяных паров от содержания углерода в синтез-газе представлен на рис.1.

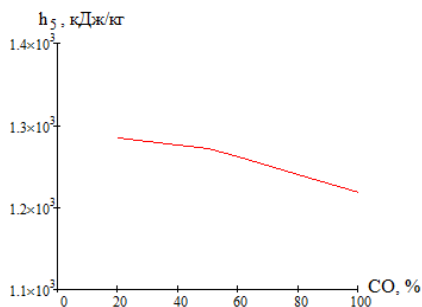


Рис.1. Зависимость энтальпии на входе в КС от содержания углерода в синтез-газе

При дальнейшем увеличении H_2 в синтез-газе и доли водяных паров в рабочем теле их вклад в рекуператоре снижается из-за низкой температуры конденсации, так как H_2O -пары находятся при парциальном давлении. Эта теплота не может быть передана рабочему телу на входе в КС и теряется на нагрев окружающей среды. Из-за роста водяных паров в рабочем теле растут потери, приводящие к снижению термического КПД. Зависимость термического КПД с учетом энтальпии на входе в КС от содержания углерода в синтез-газе представлена на рис.2.

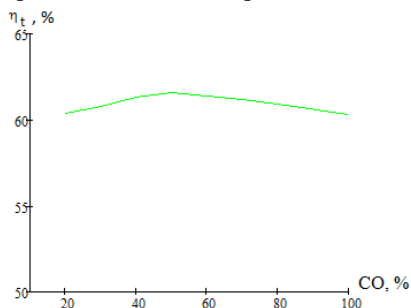


Рис.2. Зависимость термического КПД от содержания углерода в синтез-газе

Из графика видно, что максимальный термический КПД достигается при оптимальном составе синтез-газа, состоящим из 50% углерода и водорода.

Таким образом, можно сделать вывод, что увеличение водорода в составе синтез-газа ведет к возрастанию водяных паров, которые сильно

влияют на термодинамическую эффективность всей системы. Очень важно учитывать количество водяных паров, чтобы точнее спроектировать и рассчитать CO₂-цикл Аллама с внутрицикловой газификацией угля.

Литература:

1. Берт Метц, Огунладе Дэвидсон, Хелен де Конинк, Мануэла Лоос, Лео Мейер Улавливание и хранение двуокиси углерода // Специальный доклад МГЭИК –2005. – 56 с.

2. Rodney Allam, Scott Martin*, Brock Forrest, Jeremy Fetvedt, Xijia Lu, David Freed, G. William Brown Jr.a, Takashi Sasaki, Masao Itohb, James Manningc Demonstration of the Allam Cycle: An update on the development status of a high efficiency supercritical carbon dioxide power process employing full carbon capture // Energy Procedia – 2017. –С. 5948-5966.

3. Таценко М. Е., Щинников П. А., Садкин И. С. Исследование термодинамической эффективности цикла Аллама с внутрицикловой газификацией угля // Всероссийская конференция «XLI Сибирский теплофизический семинар»– 2025.

4. Таценко М. Е., Щинников П. А., Садкин И. С. Новая технология на основе цикла Аллама с внутрицикловой газификацией угля // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики-Вып. 6-2025.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАНОВОДОРОДНОЙ СМЕСИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

П. Ю. Ульянов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lenin_777777@mail.ru**

Научный руководитель: Григорьева О. К., к.т.н., доцент

Проведена оценка влияния доли водорода в газовой смеси на экологические показатели и выброс неблагоприятных веществ. Определены выбросы парниковых газов и водяного пара при сжигании водорода и метана, рассмотрено влияние увеличения содержания H₂ на снижение выбросов CO₂.

An assessment was carried out of the effect of the hydrogen fraction in a gas mixture on environmental indicators and emissions of harmful substances. Emissions of greenhouse gases and water vapor during the combustion of hydrogen and methane were determined, and the effect of increasing H₂ content on reducing CO₂ emissions was examined.

Переход на водородосодержащие газовые смеси обусловлен необходимостью декарбонизации энергетики. Диоксид углерода (CO₂) -

парниковый газ, который оказывает неблагоприятный эффект на окружающую среду и является причиной глобального потепления. Увеличение доли водорода в газовые смеси позволяет сократить эмиссии без полного отказа от существующей инфраструктуры, что делает этот подход экономически и технически привлекательным на переходном этапе декарбонизации.

При сжигании одного килограмма водорода выделяется 120 МДж тепловой энергии и 9 кг водяного пара. При сжигании метана в том же тепловом эквиваленте, выделяется 6,6 кг углекислого газа и 5,4 кг водяного пара, то есть 12 кг парниковых газов [1].

В процентном соотношении можно отметить, что при получении одинакового количества энергии суммарные выбросы парниковых газов при сжигании метана на 30 % выше, чем при сжигании водорода. При этом выбросы водяного пара при сжигании природного газа на 40 % ниже, чем у водорода.

При сжигании рабочего газа выделяется от 36 % до 72 % водяного пара и от 9 % до 26 % углекислого газа. Можно сделать вывод, что на парниковый эффект в большей мере влияет водяной пар. При сжигании метана образуются водяной пар и углекислый газ, а при сжигании водорода — только водяной пар, но в большем количестве. Если учесть этот факт, то парниковый эффект от сжигания 1 кг водорода будет соизмерим с парниковым эффектом от сжигания 2,4 кг метана.

Важно отметить, что для получения одинакового количества энергии при реакции водорода с кислородом расходуется на 20 % меньше кислорода, чем при сжигании метана. Вместе с тем, из зарубежных публикаций можно сделать вывод, что на усиление парникового эффекта оказывает влияние только углекислый газ.

При увеличении доли водорода в смеси, выбросы углекислого газа в атмосферу будет снижаться рис. 1.

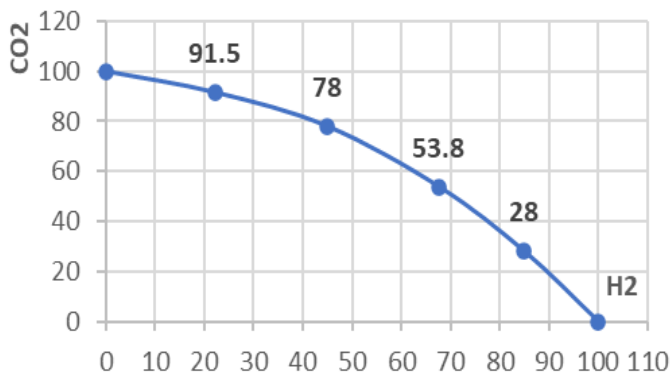


Рис.1 – График зависимости CO_2 от концентрации H_2 в топливе

Из графика видно, что при относительно небольших концентрациях водорода в метановодородном топливе снижение выбросов углекислого газа в атмосферу незначительно. Чтобы достичь снижения выбросов CO_2 на 50 %, необходимо подмешать к природному газу 75 % водорода. При увеличении концентрации водорода в газотранспортной системе будет снижаться число Воббе водородосодержащего газа.

Экспериментальные исследования показывают, что при увеличении доли водорода в топливном газе выбросы оксидов азота в выхлопных газах ГТУ возрастают. Так, исследования, проведенные компанией «Сименс» на камерах сгорания ГТУ SGT-700/800 показали, что при концентрации 30 % водорода в смеси с природным газом выбросы NO_x незначительно выше, чем при сжигании природного газа, а при переходе на 100 %-й водород концентрация NO_x в выхлопных газах ГТУ возрастает на 30 % [4].

Литература:

1. Савитенко М. А., Рыбаков Б. А. «Наука и технологии»: Влияние состава топлива на выбросы парниковых газов [Электронный ресурс] / Энергетика и промышленность России. – Дата публикации в Интернет: 02.2020.– URL: <https://www.eprussia.ru/epr/415-416/3650270> (дата обращения: 23.11.2025).
2. Комаров О. В. Тепловые и газодинамические расчеты газотурбинных установок: учебно-методическое пособие / О. В. Комаров, В. Л. Блинов, А. С. Шемякин. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 164 с. ISBN 978-5-7996-2487-3.
3. Савитенко М. А., Рыбаков Б. А. «Водородные технологические решения»: Применение водорода в энергетике [Электронный ресурс] /

АНО «Центр исследований и научных разработок в области энергетики.
– Дата публикации в Интернет: 17.02.2021.– URL: <http://www.turbine-diesel.ru/sites/default/files/n1-2021/H.pdf> (дата обращения: 25.11.2025).

4. Экология, энергетика, энергосбережение: бюллетень / под редакцией академика РАН А.В. Клименко. – Москва: ПАО «Мосэнерго», 2023. – ISBN 978-5-383-01681-7.

Секция МЕНЕДЖМЕНТ В ЭНЕРГЕТИКЕ
И В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

**ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ ТАРИФООБРАЗОВАНИЯ
НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ДЛЯ БОРЬБЫ
С СЕРЫМ МАЙНИНГОМ**

Д. Д. Барановский

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, baranovskij.2022@stud.nstu.ru**

Научный руководитель: Варенник А. А., ст. преп.

Работа направлена на разработку предложений по решению проблемы нелегального криптомайнинга в России и рассмотрение инновационной системы тарифного регулирования. Предложенная система комбинирует введение дифференцированных тарифов на электроэнергию, трехуровневый скоринговый анализ данных о электропотреблении и интернет-графиках.

This work aims to address the problem of illegal crypto mining in Russia and proposes an innovative regulatory system. The proposed system combines differentiated electricity tariffs with a three-tier scoring analysis of electricity consumption data and internet traffic patterns.

Майнинг криптовалюты – наиболее энергоемкий вид хозяйственной деятельности в России. На основании анализа данных МТС EnergyTool было установлено, что совокупная мощность майнинговых ферм в России на 2025 г. составляет 11 ГВт [1, 2]. На рис. 1 представлено соотношение «белого» и «серого» майнинга.



Рис. 1 - Соотношение белых и серых майнеров на территории России

Критическая проблема заключается в соотношении «белых» и «серых» майнеров. По оценкам экспертов, из 11 ГВт суммарной мощности майнинговых ферм в России, 2,5-2,7 ГВт составляют

зарегистрированный майнинговые фермы, которые платят налоги и используют тариф для юридических лиц. Оставшиеся 8,3-8,5 ГВт – это физические лица, уклоняющиеся от налогов и использующие льготные тарифы для населения [3. 4]. На момент 2025 г. Иркутская область сконцентрировала более 10% всех майнинговых ферм России, из-за чего, по самым минимальным подсчетам, федеральный бюджет недополучает порядка 10 млрд рублей в год только с майнинга в Иркутской области.

Предлагаемая система тарифного регулирования позволяет выявлять нелегальных майнеров с высокой точностью, минимизируя ложные срабатывания и проблемы для обычных потребителей.

Технические алгоритмы и экономические стимулы – это то, на что опирается предложенная архитектура трехуровневой детекции и дифференциация тарифов. Помимо этого, все аналитические процедуры должны выполняются в рамках правового поля и не нарушать законодательство Российской Федерации. Для этого система использует псевдонимизацию данных потребителей. Иными словами, система защищает персональные данные потребителей путем замены реальных идентификаторов(ФИО, адрес) на псевдоидентификаторы(Буквы, цифры, спецсимволы). Данная мера даст регулятору работоспособный инструмент выявления нелегального криптомайнинга, не нарушая основ приватности и не создавая юридических препятствий к запуску пилотного проекта.

Предлагаемая модель сочетает в себе детекцию по энергопотреблению на основе статистики и поведенческий скоринг интернет-трафика, с целью избежать повышения тарифов для бытовых потребителей и переводить в коммерческий режим только действительно «коммерческие» нагрузки. Ядром решения служит объективный индикатор постоянства нагрузки - коэффициент вариации (CV), который показывает, насколько ежедневно изменяется потребление.

Технически CV определяется стандартной формулой

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\%$$

где μ - среднее дневное потребление на выбранном интервале наблюдения а σ - стандартное отклонение дневных значений.

Интегральный балл, агрегирующий энергетические и сетевые признаки, порог по месячному потреблению, фиксирующий определенную норму для бытовых потребителей, коэффициент вариации - именно это гарантирует, что дифференциация применяется только к существенным нагрузкам и активируется строго при одновременном выполнении всех трёх условий: $CV \leq 15 \%$, интегральный балл ≥ 81 и

месячное потребление ≥ 3076 кВт·ч для многоквартирных домов и ≥ 6000 кВт·ч для частных домов и ИЖС.

Интегральный балл строится как сумма независимых блоков: параметры энергодинамики (средняя мощность, однородность по часам, ночные «окна»), сетевые индикаторы (суммарный объём исходящего трафика, CV трафика, частота обращений к известным пул-IP и использование характерных портов — Stratum), а также контекстные метаданные (статус регистрации объекта, заявленная численность проживающих, наличие электроотопления). Такое объединение понижает корреляцию ложных признаков, что обеспечивает высокую точность выявления именно криптомайнинга, а не случайную большую нагрузку [6].

Анализ трафика выступает в системе вторым, независимым источником информации. Майнера от бытового потребителя достаточно легко отличить. Для майнинга характерно практически постоянная интенсивность, обращения на известные пул-IP, сравнительно малое потребление интернет-трафика относительно электропотребления и использование специфичных портов (Stratum). Бытовые профили противоположны: скачкообразность по часам, существенные вечерние пики, большой суммарный объём за счёт видеостриминга и загрузок.

Параллельно с аналитикой соблюдаются требования правовой защиты данных: IP-адреса хешируются на стороне провайдера агрегированные метрики подвергаются механизму шумления так, чтобы на уровне дня отдельные значения были недоступны, а на уровне месяца и года статистика оставалась практически безошибочной.

Принцип действия системы можно описать следующим образом: CV служит регуляризацией скоринга, трафик — независимым подтверждением, а объём — экономическим фильтром. Множители к тарифам вводятся градуированно: их величина растёт при увеличении интегрального балла и при снижении CV, что обеспечивает плавный переход от бытовой защиты к экономическому воздействию на реальные фермы.

Для практической трансформации CV в экономический фактор предлагается простая монотонная зависимость, которая даёт множитель в диапазоне примерно от 1 (при крайне переменном потреблении) до ~2 (при почти идеальной круглосуточной стабильности). Один из рабочих вариантов отображения регулярности:

$$k_{CV} \approx 2,0 - \frac{CV}{100},$$

При CV близком к нулю множитель стремится к 2, при CV = 100 % - к 1. Практически множитель комбинируется с градуированными

уровнями интегрального балла и применяется только если одновременно выполнены все активационные условия; это исключает простое «автоматическое наказание» за высокий объём, который имеет естественное бытовое объяснение.

Экономическое обоснование системы опирается на принцип-стимул: целевое повышение тарифной нагрузки должно сделать нелегальный майнинг экономически невыгодным и одновременно обеспечить выгодную опцию легализации. В реальных сценариях это порождает для потребителя выбор: легализоваться и платить тариф для юридических лиц с налогами или продолжать нелегально и нести гораздо более высокие платежи и юридические риски. Технически повышение производится не принудительно, а через детерминированную, верифицируемую формулу, что улучшает прозрачность, уменьшает количество судебных споров и повышает общественное доверие.

Литература:

1. MTC EnergyTool: платформа анализа аномалий в энергосетях с использованием искусственного интеллекта [Электронный ресурс]. – URL: <https://mts.ru/business/energotool> (дата обращения: 25.10.2025).
2. Статистика майнинговых ферм в России / MTC EnergyTool. – Февраль 2025 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://mts.ru/business/energotool/analytics> (дата обращения: 25.10.2025).
3. Россети Сибирь: Годовой отчет 2024 / ПАО «Россети Сибирь». – Новосибирск, 2024. – 156 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rosseti-sib.ru/investors/disclosure/annual-reports/> (дата обращения: 26.10.2025).
4. Потери электроэнергии в электросетях России: статистические данные 2024 / Enerdata. – 2024 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/power-losses-in-russia.html> (дата обращения: 26.10.2025).
5. Иркутскэнергосбыт: Тарифы на электроэнергию для населения Иркутской области на 2025 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.irkutskenergoby.ru/tariffs/> (дата обращения: 01.11.2025).
6. Stratum Mining Protocol: Technical Specification [Electronic resource] / Bitcoin Wiki. – 2024. – URL: https://en.bitcoin.it/wiki/Stratum_mining_protocol (accessed: 02.11.2025).

ИСКУССТВО ОТБОРА: КАК ОЦЕНИТЬ НЕ ТОЛЬКО НАВЫКИ, НО И ПОТЕНЦИАЛ СОТРУДНИКА

К. В. Бухтиярова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru**

Научный руководитель: Юдина Л. Н., к.э.н., доцент

Статья посвящена комплексному подходу к подбору персонала, выходящему за рамки традиционного анализа резюме. В материале процесс найма рассматривается как стратегическая задача, успех в которой зависит от способности оценить не только профессиональные компетенции, но и личностные качества, ценности и потенциал кандидата.

This article focuses on a comprehensive approach to recruitment that goes beyond traditional resume analysis. It views the hiring process as a strategic endeavor, where success depends on evaluating not only professional competencies but also personal qualities, values, and potential.

Любой человек, который решал открыть своё дело, компанию, бизнес рано или поздно сталкивался с вопросом, как найти подходящих сотрудников? Этот вопрос имеет очень много подводных камней, ведь для ответа на него мало разбираться в людях, необходимо быть стратегом, психологом, маркетологом и юристом в одном лице. Но, тогда как сделать максимально успешный выбор, привести в свою компанию того человека, который подходит лично вам, который подходит под решаемые бизнес-задачи, который соответствует корпоративной культуре компании? На данном этапе можно сделать маленький вывод, что оценка сотрудника — это не инструмент исключительно HR, это в первую очередь инструмент управления людьми, управления организацией, ведь именно от них в равной мере будет зависеть наше будущее. Многие разобранные пункты в этой статье не только позволяют грамотно подбирать сотрудников, но будут актуальны в личной жизни и взаимодействиями со всеми людьми, тем самым повышая свою успешность, не только как специалиста, но и просто как человека и личности.

Подходы к интервью: большинство американских методик проведения интервью основаны на том, что кандидату задают вопросы о его прошлом, были ли конфликты, проявлял ли он лидерские качества, какие виды спорта он предпочитал индивидуальные или групповые и подобные. Моё мнение к такому методу неоднозначно, я вижу риск в том, что приоритеты, мотивация и реакции на какие-то ситуации могут поменяться, людям свойственно проживая опыт переосмысливать и

менять своё поведение и принципы. Важно брать во внимание среду компании, в которой он работал и нашу, она может кардинально отличаться, а следовательно, и поведение сотрудника тоже. Поэтому важно не только формулировать и задавать вопросы о прошлом, но и научиться моделировать будущее поведение кандидата на его новом месте в нашей компании. Поведение человека при устройстве на работу вполне логично, его цель получить это место, поэтому ему свойственно показывать себя с лучшей стороны, наша задача отделять факты от гипотез, его самооценку и реальности.

Важно озвучить идею о том, что неправильно делить мир на чёрное и белое, хорошее и плохое, мир слишком сложен и неоднозначен, этот подход важно использовать и при подборе персонала, разные должности подразумевают разный набор подходящих качеств человека. Поэтому не используем формулировку плохой и хороший кандидат, а подходящий и не подходящий на конкретную должность. Важно избегать текучести кадров, потерь и конфликтов, для этого нужно анализировать какие у человека амбиции и сопоставлять возможность карьерного роста на определённой должности на несколько лет вперёд. Один из факторов залога успеха оценки персонала — это профиль компетенций, то есть его навыки и компетенции личностные-это характер, темперамент и прочее. Наша задача составить список этих компетенции и оценивать именно его на протяжении интервью.

Очень часто, когда мы берём человека нам необходимо проверить его навыки и способности, моделируем ситуацию и дальше уже смотрим, какие решения предложит кандидат. Есть виды работ, где все процессы сильно структурированы, существует регламенты выполнения действий, задачи, инструменты определены, например бухгалтерский учет, но есть и работы на которых постоянная непредсказуемость например продажи, маркетинг, пиар, во втором случае нам важна такая компетенция, как нестандартное или креативное мышление, умение быть эффективным в непривычной для себя ситуации, находить решения в тех ситуациях, в которых на первый взгляд их нет. Чтобы выявить у человека наличие креативности, то можно предложить ему продать абсурдный продукт, если работа в сфере продаж, маркетологу мы можем предложить составить слоган к нему или предложить идею по продвижению продукта.

В рамках интервью можно проверить и ценности кандидата, но не стоит забывать, что человек может подумать и дать социально одобряемый ответ-тот ответ, который он даёт, чтобы понравиться интервьюеру, а не тот, который был на самом деле у него в голове. Для этого мы должны использовать провокацию, она выражается в том, что

мы начинаем спорить с кандидатом, если после этого кандидат меняет своё мнение, то вероятнее ответ был не искренним и в реальности реакция на смоделированную ситуацию была бы другой, но если мнение не меняется, человек отстаивает свою позицию, значит он был искренним с самого начала.

В арсенале современных HR-специалистов всё большую популярность приобретают проективные вопросы — особый инструмент, позволяющий выйти за рамки шаблонных резюме и заученных ответов. Их суть заключается в том, что соискателю предлагается прокомментировать гипотетическую ситуацию, дать оценку поведению других людей или продолжить незаконченное предложение (например, «Идеальная работа — это...» или «Мой главный страх в профессиональной среде — это...»). Поскольку вопрос является абстрактным и не касается личного опыта кандидата напрямую, его ответ в меньшей степени подвержен социально желательной окраске и не так легко поддаётся цензуре. Таким образом, проективная методика работает как психологический «детектор», проецируя на ситуацию истинные мотивы, ценности, страхи и модели поведения человека, что позволяет оценить не только его профессиональные навыки, но и глубинное соответствие корпоративной культуре и коллективу.

Чтобы более точно понять сильные и слабые стороны кандидата можно использовать параметры психолингвистики. Обращая внимание на психолингвистические аспекты в подборе, рекрутер выходит за рамки содержания ответов и начинает анализировать сам процесс речи кандидата. Ключевой момент здесь — языковые маркеры, которые неосознанно выдают отношение человека к сказанному. Прежде всего, стоит отслеживать использование местоимений. Когда соискатель говорит о прошлых проектах, используя «я» («я добился», «я реализовал»), это может указывать на индивидуализм, в то время как частое «мы» («мы разработали», «наша команда») свидетельствует о командной ориентации и способности разделять успехи. Также важно обращать внимание на глаголы: активный залог («я создал систему») говорит о принятии ответственности, тогда как пассивный («система была создана») или использование неопределённо-личных конструкций («там решили») может быть попыткой её избежать.

Особую ценность представляет анализ модальности высказываний, то есть того, как кандидат выражает возможность, необходимость или желательность действий. Обилие утверждений с модальными глаголами «должен», «обязан», «приходится» («мне приходилось задерживаться») может сигнализировать о выгорании, ощущении давления извне и недостатке внутренней мотивации. Напротив, язык, насыщенный

глаголами «могу», «хочу», «намерен» («я могу найти решение», «я намерен развиваться в этой области»), указывает на высокий уровень самоэффективности. Эти нюансы раскрывают не заявленные, а реальные мотивационные установки человека.

Наконец, важным объектом для наблюдения является структура и связность нарратива. Уверенный в себе и своем опыте кандидат, как правило, строит ответы логично, последовательно и с достаточной детализацией, даже отвечая на неожиданные вопросы. Напротив, резкие скачки теммы, обилие слов-паразитов («ну», «как бы», «в общем-то») и расплывчатые формулировки при описании ключевых моментов в резюме могут быть признаками неуверенности, попытки скрыть неудачный опыт или недостаточного погружения в собственную профессиональную биографию. Таким образом, психолингвистика даёт в руки рекрутеру мощный инструмент для верификации искренности кандидата и прогнозирования его реального поведения в рабочей среде.

Таким образом, искусство и наука подбора персонала сводятся к одному простому, но фундаментальному правилу: цель — не просто закрыть вакансию, а найти подходящего человека. Подходящего с точки зрения не только навыков в резюме, но и мотивации, потенциала роста и командной совместимости. Внедрение структурированных интервью, внимательный анализ невербальных сигналов и языковых паттернов, использование проективных вопросов — все эти инструменты служат одной цели: принять взвешенное кадровое решение, которое будет работать на благо компании долгие годы. Помните, что стоимость ошибки в подборе высока, в то время как выгода от найма «идеального кандидата» неизмерима. Поэтому инвестируйте время в процесс, будьте вдумчивы и системны, и ваши усилия обязательно принесут ценные плоды в виде лояльных, продуктивных и талантливых сотрудников.

Литература:

1. Иванова, С. Искусство подбора персонала: как оценить человека за час / С. Иванова. — М.: Издательство «Эксмо», 2019. — 256 с.
2. О'Нил, Дж. Интервью при отборе. 58 лучших вопросов из практики крупнейших компаний мира / Дж. О'Нил. — М.: Альпина Паблишер, 2013. — 218 с.

УПРАВЛЕНИЕ ТАЛАНТАМИ: ВЫЯВЛЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И УДЕРЖАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СОТРУДНИКОВ

А. В. Гапон

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, aleksandra21756@gmail.com
Научный руководитель: Юдина Л. Н., к.э.н., доцент**

В статье рассматривается система управления талантами как ключевой элемент стратегии компании в условиях глобальной конкуренции за кадры. Основное внимание уделено трем взаимосвязанным процессам: выявлению сотрудников с высоким потенциалом, их развитию через целевые программы обучения и карьерного планирования, и удержанию с помощью комплексной мотивации и создания благоприятной среды. Автором доказывается, что эффективное управление талантами напрямую влияет на устойчивое развитие и конкурентные преимущества организации.

The article examines the talent management system as a key element of a company's strategy in a global competition for talent. The focus is on three interconnected processes: identifying high-potential employees, developing them through targeted training programs and career planning, and retaining them through comprehensive motivation and a supportive environment. The author argues that effective talent management directly contributes to the sustainable development and competitive advantages of an organization.

Управление талантами – это стратегический и систематический подход к привлечению, выявлению, развитию, вовлечению и удержанию сотрудников, представляющих высокую ценность для организации. В отличие от традиционного управления персоналом, которое часто ориентировано на всех сотрудников, управление талантами сфокусировано на дифференцированном подходе к наиболее перспективным и результативным работникам.

Как подчеркивают Т.Ю. Базаров и А.Д. Беляков, современный кадровый менеджмент эволюционирует от административных функций к управлению потенциалом, где ключевую роль играет работа с «золотым фондом» организации. Зарубежные исследователи Р. Барнетт и А. Халлам определяют управление талантами как неотъемлемую часть стратегического управления человеческими ресурсами, направленную на создание пула лидеров и специалистов, необходимых для будущего успеха компании.

Выявление талантов: методы и инструменты

Первый и фундаментальный этап – это идентификация сотрудников с высоким потенциалом. «Талант» в данном контексте понимается не

только как исключительные врожденные способности, но и как сочетание компетенций, мотивации и потенциала к росту.

Ключевые методы выявления талантов включают:

1. Оценка по компетенциям Сравнение навыков и качеств сотрудника с разработанной в организации моделью ключевых компетенций для целевых позиций.

2. Оценка эффективности (Performance Management): Анализ KPI и реальных результатов работы. А.А. Андреев отмечает, что для оценки эффективности, в том числе и с целью выявления талантов, необходима сбалансированная система показателей, учитывающая не только количественные, но и качественные результаты [10].

3. Психометрическое тестирование и ассессмент-центры: Это наиболее объективные инструменты, позволяющие оценить личностные особенности, потенциал к лидерству и стратегическому мышлению в смоделированных рабочих ситуациях.

4. Система 360 градусов: Получение обратной связи от руководителя, коллег, подчиненных и иногда клиентов позволяет составить многомерный портрет сотрудника и выявить его скрытые потенциалы и зоны роста.

Развитие талантов: создание программ роста

После выявления ключевых сотрудников для них разрабатываются индивидуальные планы развития (ИПР). *Цель – целенаправленно подготовить их к будущим ролям и ответственности.*

Основные инструменты развития талантов:

Наставничество (Mentoring) и Коучинг (Coaching): Индивидуальная работа с опытным руководителем (ментором) или профессиональным коучем помогает в развитии конкретных навыков и карьерном ориентировании.

Программы ротации: Временное перемещение сотрудника на другую должность или в другой департамент для расширения кругозора и приобретения новых компетенций.

Проектная деятельность: Назначение на руководство или участие в ключевых стратегических проектах, что позволяет проявить и развить лидерские и управленческие качества.

Специальные программы обучения (Talent Pool Programs): Как отмечает Е.С. Балашова, создание кадрового резерва и реализация для него специализированных программ развития – одна из самых эффективных практик в крупных организациях, включая вузы. Д. Баум в своей работе также подчеркивает важность международных практик и стажировок для академического роста.

Удержание талантов: мотивация и вовлеченность

Самым сложным этапом является удержание ключевых сотрудников, поскольку они наиболее востребованы на рынке труда. Стандартных методов мотивации здесь часто недостаточно.

Стратегии удержания включают:

1. Конкурентная система вознаграждения: Прозрачная и справедливая система оплаты труда, включающая не только высокий базовый оклад, но и переменную часть (бонусы, опционы), напрямую связанную с результатами и вкладом в стратегию компании.

2. Нематериальная мотивация и признание: Создание культуры признания заслуг, предоставление возможности представлять компанию на внешних площадках, вручение внутренних наград. О.В. Сидорова акцентирует внимание на том, что для высококвалифицированных специалистов особенно важны интеллектуальная свобода, интересные задачи и признание их expertise.

3. Развитие организационной культуры и вовлеченности: Создание среды, основанной на доверии, уважении и ценностях, которые разделяет сотрудник. Важным аспектом является обеспечение баланса между работой и личной жизнью (work-life balance).

4. Прозрачные карьерные траектории: Ключевой сотрудник должен четко видеть свои возможные пути роста внутри организации. Отсутствие перспектив – одна из главных причин ухода талантов.

Литература:

1. Андреев А. А. Оценка эффективности деятельности преподавателей вуза / А. А. Андреев // Высшее образование в России. – 2021. – № 8. – С. 145-152.

2. Балашова Е. С. Развитие кадрового потенциала высшей школы России: монография / Е. С. Балашова. – М.: РУСАЙНС, 2020. – 218 с.

3. Базаров Т. Ю. Кадровый менеджмент в системе образования: учебное пособие для вузов / Т. Ю. Базаров, А. Д. Беляков. – М.: Юрайт, 2021. – 255 с.

4. Сафонова Н. А. Цифровизация управления персоналом в высшем образовании / Н. А. Сафонова, А. С. Петров // Современные проблемы науки и образования. – 2023. – № 2. – С. 43-57.

ПРОЦЕСС ПОДБОРА КАДРОВ

А. Д. Денисова

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Юдина Л. Н. к.э.н., доцент

Эта статья посвящена подходу к выбору персонала в компании и организации, а точнее этапы и методы подбора, критерии оценки кандидатов. Рассматриваются современные подходы к отбору, какую роль занимает психодиагностика при собеседованиях и тестирований. Для повышения эффективности деятельности предприятия, уделено особое внимание значению правильного выбора персонала.

This article is devoted to the approach to the selection of personnel in a company and an organization, or rather the stages and methods of selection, criteria for evaluating candidates. Modern approaches to selection are considered, what role psychodiagnostics plays in interviews and tests. To increase the efficiency of the company, special attention is paid to the importance of choosing the right staff.

Успех организации зависит от многих фактов, но один из самых важных является выбор персонала, что представляет собой одну из ключевых функций управления персоналом. Профессиональные качества, навыки, мотивация и компетентность персонала играет ключевую роль в организации. Это и становится важным стратегическим инструментом в современной экономике, что характеризуется высокой конкуренцией.

Совершенствования системы управления персоналом требуются для организации в наше время при ведении бизнеса. Работодатели стремятся находить инициативных, ответственных и мотивированных людей, а не просто исполнителей. Поэтому процесс отбора персонала становится стратегией, а не просто административной процедурой.

Выбор персонала — это процесс подбора наиболее подходящих работников для выполнения определённых должностных обязанностей в организации. Главная в этом процессе — это чтобы характеристики кандидата соответствовали требованиям его должности.

Хороший подбор кадров помогает снизить текучесть персонала, повышает производительность труда, и также хорошо улучшает общий климат и настроение в коллективе. Ошибки при принятии в найм сотрудника, приводит к убыткам организации, снижает качество работы и ухудшает репутацию компании.

Выбор персонала становится для компании фундаментом, для долгосрочной устойчивости бизнеса. Ведь именно сотрудники делают компанию конкурентноспособной на рынке.

Процесс выбора персонала можно разделить на несколько последовательных этапов, которые очень важны:

1. Определение потребности в персонале и составление профиля должности;
2. Привлечение кандидатов (внешний и внутренний набор);
3. Первичный отбор резюме и анкет;
4. Проведение собеседований и тестирований;
5. Проверка рекомендаций и прошлых мест работы;
6. Принятие решения о приёме на работу.

Каждый этап должен быть направлен на выявление личных особенностей и сильных сторон кандидата, а не только его профессиональных компетенций. HR-специалисты формируют модель работника, которого хотят видеть в своей команде, где должны отображаться все ключевые характеристики успешного кандидата. Сейчас, многие компании применяют цифровые технологии при отборе: онлайн-тестирование, видео собеседование, искусственный интеллект для анализа анкет и резюме.

Методы выбора зависят от специфики деятельности организации, поэтому их очень много, и они индивидуальны. К наиболее распространенным можно отнести следующие методы.

Первый- собеседование. Это базовый метод, где работодатель и кандидат общаются, что позволяет оценить компетенции, коммуникативные навыки и в целом, что из себя представляет человек.

Второй — это тестирование. В основном используют для выявления профессиональных знаний, логического мышления и стрессоустойчивости.

Третий — это ассесмент-центр. Комплексный метод оценки, включающий групповые упражнения, деловые игры и интервью;

Четвертый-анализ рекомендаций. Он позволяет определить достоверность информации кандидата о себе.

На сегодняшний день, компании активно внедряют искусственный интеллект при отборе, для его ускорения. Но только личное общение позволяет оценить эмоциональный интеллект и соответствие культуре компании, что остается ключевым элементом.

Стоит разобрать и критерии оценки кандидатов. Они индивидуальны, но зачастую включают в себя следующие параметры. Критерии оценки зависят от характера должности, но чаще всего включают следующие параметры:

- профессиональная компетентность и опыт работы;
- личностные качества (ответственность, коммуникабельность, адаптивность);

- мотивация к труду и развитие;
- соответствие ценностям и культуре организации.

Чтобы точность отбора кадров повышалась, многие организации используют систему компетенций. В этой системе каждая характеристика оценивается по шкале, что позволяет сравнивать кандидатов.

Важную роль в выборе сотрудников играет HR-менеджер. Его задача не только за отбор, но и за -формирование репутации и имиджа работодателя. Сейчас они должны обладать многими навыками. Например, навыком коммуникации, аналитическим мышлением, знанием цифровых инструментов рекрутинга и так далее. Также, он должен проводить консультации для руководителей подразделений, чтобы выявить потребности в персонале, а также помогать адаптировать новых.

Так выбор персонала стал сложным процессом, от которого зависит будущее компании. Если грамотно выстроить систему отбора, это поможет не только с поиском хороших сотрудников, но и создать условия для их развития. Большое значение имеет комплексный подход, который включает в себя профессиональные, психологические и мотивационные аспекты. Сформировать команду, успешно реализовывать цели организации может способствовать только хороший выбор сотрудников.

Литература:

1. Кибанов А. Я. Основы управления персоналом. — М.: ИНФРА-М, 2021.
2. Балабанов И. Т. Экономика труда и управление персоналом. — СПб.: Питер, 2020.
3. Балабанов И. Т. Экономика труда и управление персоналом. — СПб.: Питер, 2020.

ОПЫТ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «РОССЕТИ СИБИРЬ»)

И. В. Захаренков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zakharenkov86@mail.ru**

Научный руководитель Е. А. Гришина, к.э.н., доцент

В статье представлено применение корпоративной информационной системы (КИС) и веб-ГИС «Геомодуль» для учёта заявок, ведения договоров, анализа технических решений и пространственной визуализации

электросетевой инфраструктуры. Отмечено, что использование этих систем повышает прозрачность процедур технологического присоединения (ТП), снижает вероятность ошибок в документах и сокращает сроки обработки заявок за счёт автоматизации и интеграции данных. Также выделены ограничения и направления дальнейшего развития цифровой архитектуры электросетевой компании.

This article presents the use of the corporate information system and the Geomodule web-based GIS for application processing, contract management, technical solution analysis, and spatial visualization of electric grid infrastructure. It is noted that the use of these systems increases the transparency of technological connection procedures, reduces the likelihood of document errors, and shortens application processing times through automation and data integration. The article also highlights the limitations and areas for further development of the electric grid company's digital architecture.

Процесс технологического присоединения энергопринимающих устройств к электрическим сетям остаётся одним из наиболее значимых направлений деятельности сетевых компаний. Его правовое регулирование основано на Правилах недискриминационного доступа, утверждённых Постановлением Правительства РФ № 861 [1], а также методических указаниях ФАС России по расчёту платы за ТП [2].

ПАО «Россети Сибирь» как крупнейшая электросетевая компания Сибирского федерального округа реализует масштабную программу цифровизации, включая внедрение Smart Grid, АИИС КУЭ, пилотных цифровых подстанций и беспилотного мониторинга линий электропередачи. В этих условиях цифровые инструменты сопровождения ТП, такие как корпоративная информационная система и Геомодуль, становятся важным фактором повышения эффективности и прозрачности взаимодействия с заявителями.

Корпоративная информационная система в ПАО «Россети Сибирь» является закрытой, то есть доступ к ней имеют только сотрудники компании. Она обеспечивает управление ключевыми бизнес-процессами, включая технологическое присоединение.

С помощью корпоративной информационной системы осуществляется регистрация и обработка заявок на ТП, ведение договоров, финансовый учёт операций и формирование отчётности по подключению новых потребителей.

Работа с конкретным заявителем начинается с поиска по номеру договора и перехода к специализированному документу, отражающему «Процесс технологического присоединения». В карточке фиксируются основные данные ТП: сведения о заявителе, параметры его объекта, история документооборота, статусы исполнения технических условий.

Система позволяет выполнять выборку и фильтрацию договоров по различным параметрам, а также выгружать данные в формате Excel для последующего анализа и подготовки отчетов, что существенно облегчает контроль сроков и качества исполнения.

Особую роль корпоративная информационная система играет на завершающей стадии ТП, когда после выполнения технических мероприятий Районными электрическими сетями (РЭС) и подготовки акта допуска прибора учёта информация передаётся в Управление сетевого технологического присоединения (УСТП) для закрытия договоров.

Геомодуль представляет собой веб-ориентированную геоинформационную систему, работающую в браузере и предназначенную для визуализации электросетевого хозяйства и объектов заявителей.

На практике Геомодуль используется для отображения на карте расположения объектов потребителей, трасс линий электропередачи, подстанций и опор, а также для просмотра их технических параметров при выборе точки присоединения. Инженер может оценить, какие ЛЭП и трансформаторные подстанции находятся вблизи заявителя, их класс напряжения, загруженность и потенциальную необходимость реконструкции или строительства новых элементов сети.

Организационно весь процесс ТП в ПАО «Россети Сибирь» реализуется через взаимодействие нескольких подразделений: РЭС, выполняющих технические мероприятия в сетях; УСТП, отвечающего за юридически корректное завершение присоединения; и бэк-офиса, формирующего технические условия и справки по договорам.

РЭС осуществляют монтаж приборов учёта, строительство и реконструкцию ЛЭП и ТП, а затем направляют акты допуска и акты выполнения ТУ в УСТП через корпоративную информационную систему.

УСТП проверяет комплектность и правильность оформления документов, при необходимости возвращая материалы в РЭС на доработку с установленными регламентом сроками. После устранения замечаний УСТП формирует уведомление о готовности к подаче напряжения, акты выполненных работ и акт технологического присоединения, которые размещаются в личном кабинете заявителя и фиксируются в корпоративной информационной системе.

Бэк-офис подготавливает проекты договоров ТП, технические условия и справки по договорам, где детализируются мероприятия сетевой организации, длина и сечение линий, параметры ТП и ориентировочная стоимость.

На основании анализа процесса ТП можно выделить ряд эффектов, достигаемых за счёт применения корпоративной информационной системы и Геомодуля:

1. Повышение прозрачности (все этапы обработки заявки от её регистрации до закрытия договора фиксируются в корпоративной информационной системе и могут быть проанализированы по временным меткам и ответственным исполнителям);

2. Снижение документальных ошибок (унифицированные формы и шаблоны договоров, а также автоматическая подстановка реквизитов заявителя уменьшают риск некорректного оформления документов);

3. Сокращение сроков обработки (за счёт электронной маршрутизации документов между РЭС, УСТП и бэк-офисом, а также интеграции с личным кабинетом заявителя ускоряется согласование и подписание актов);

4. Улучшение качества технических решений (геомодуль обеспечивает комплексный обзор конфигурации сетей и параметров оборудования, что позволяет обоснованно выбирать точку присоединения и оценивать необходимость реконструкции).

Вместе с тем был выявлен ряд ограничений в развитии цифровой среды:

1. Корпоративная информационная система и Геомодуль имеют закрытый характер (это затрудняет интеграцию с внешними аналитическими платформами и ограничивает возможности для сквозной цифровой аналитики на стороне потребителей и регуляторов);

2. Качество исходных данных (при неполной или несвоевременной актуализации информации о резервах мощности и состоянии оборудования возможно формирование избыточно затратных технических решений);

3. Необходимость систематического обучения персонала работе с цифровыми инструментами;

4. Необходимость импортозамещения программного обеспечения.

В результате анализа можно сделать вывод, что перспективным направлением развития является интеграция корпоративной информационной системы и Геомодуля с оптимизационными модулями, автоматически подбирающими наименее затратный и технически обоснованный вариант присоединения с учётом реальных резервов мощности, нормативных ограничений и долгосрочных планов развития сетей. Такие решения соответствуют целям концепции «Цифровая трансформация 2030», предусматривающей переход к интеллектуальным сетям с элементами предиктивной аналитики и цифровых двойников.

Литература:

1. Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг».
2. Приказ ФАС России от 30.06.2022 № 490/22 «Об утверждении Методических указаний по определению платы за технологическое присоединение к электрическим сетям».

УДАЛЁННЫЙ И ГИБРИДНЫЙ ФОРМАТ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ ДЛЯ РЕКРУТИНГА И МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА

Е. С. Каменская

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru**

Научный руководитель: Юдина Л. Н. к.э.н., доцент

Статья посвящена анализу трансформации процессов рекрутинга и мотивации персонала в условиях распространения удалённого и гибридного форматов работы. Рассматриваются ключевые вызовы, с которыми сталкиваются HR-специалисты: оценка мягких навыков и самодисциплины кандидатов, построение эффективных коммуникаций в распределённых командах, предотвращение выгорания и поддержание вовлеченности. На основе анализа современных источников предлагаются практические рекомендации по адаптации HR-стратегий к новым реалиям. Делается вывод о необходимости перехода от контроля к доверию и от унифицированных программ к персонализированным подходам в управлении персоналом.

The article is devoted to the analysis of the transformation of personnel recruitment and motivation processes in the context of the spread of remote and hybrid work formats. The key challenges faced by HR specialists are considered: assessing candidates' soft skills and self-discipline, building effective communications in distributed teams, preventing burnout and maintaining engagement. Based on the analysis of modern sources, practical recommendations for adapting HR strategies to new realities are offered. The conclusion is made about the need to move from control to trust and from unified programs to personalized approaches in personnel management.

Глобальная пандемия 2020–2022 годов стала катализатором беспрецедентного перехода к удалённым и гибридным моделям работы. Если ранее такой формат был периферийной практикой для отдельных отраслей, то сегодня он стал мейнстримом, определяющим новую парадигму трудовых отношений. По данным исследования [1], к концу 2023 года более 70% компаний в России так или иначе внедрили

гибридный или полностью удалённый режим для офисных сотрудников. Эта трансформация требует фундаментального пересмотра традиционных подходов к рекрутингу и мотивации персонала. Цель данной статьи — выявить ключевые вызовы, возникающие перед HR-менеджментом в новых условиях, и предложить пути их решения на основе анализа актуальных данных и теоретических концепций.

Трансформация рекрутинга в эпоху дистанционной работы

Рекрутинг из процесса, сфокусированного на поиске и отборе локальных специалистов, превратился в глобальную конкурентную среду. Это порождает ряд специфических вызовов. Расширение географии поиска и усиление конкуренции Компании теперь могут привлекать таланты из любого региона, что, с одной стороны, расширяет пул кандидатов, а с другой — обостряет конкуренцию за лучших из них. Локальные работодатели вынуждены конкурировать с компаниями из столиц и даже из-за рубежа, которые могут предложить более привлекательные условия. Это требует от рекрутеров не только знания локального рынка, но и понимания общемировых трендов в оплате труда и мотивационных пакетах [2].

Переоценка критериев отбора и методов оценки

Классические интервью в офисе уступают место многоэтапным онлайн-собеседованиям. Ключевым навыком для кандидата становится «удаленная обучаемость» — способность быстро осваивать новые цифровые инструменты и адаптироваться к меняющимся процессам. На первый план выходят *soft skills*: самодисциплина и тайм-менеджмент: оценке этих качеств способствуют использование кейсов, симуляций рабочего дня или тестовых заданий с жёсткими дедлайнами; коммуникативные навыки в цифровой среде: рекрутеры обращают внимание на то, как кандидат ведет себя в видео-интервью: ясно ли излагает мысли, умеет ли работать в условиях возможных технических сбоев, демонстрирует ли цифровой этикет.

Способность к эмпатии и построению доверительных отношений в условиях ограниченного личного общения становится критически важной [3]. Таким образом, рекрутинг смещается от оценки профессиональных навыков в статичных условиях к прогнозированию успешности кандидата в динамичной и зачастую изолированной рабочей среде.

Вызовы мотивации и поддержания вовлеченности

Если рекрутинг позволяет найти подходящего сотрудника, то система мотивации призвана удержать его и раскрыть его потенциал. В удалённом и гибридном формате традиционные методы мотивации теряют эффективность.

Размывание границ между работой и личной жизнью и риск выгорания

Постоянное нахождение «в режиме онлайн» стирает психологические границы, приводя к синдрому эмоционального выгорания. Исследования показывают, что уровень выгорания среди удалённых сотрудников на 15–20% выше, чем среди работающих в офисе [1]. В качестве контрмеры прогрессивные компании внедряют политику «права на отключение» (right to disconnect), запрещающую руководителям беспокоить сотрудников в нерабочее время., тренинги по управлению стрессом и тайм-менеджменту, мотивацию, направленную на заботу о здоровье: оплату фитнес-абонементов, онлайн-йоги, предоставление дополнительных дней для ментального здоровья (mental health days) [4].

Снижение социального капитала и корпоративной культуры

В офисе неформальное общение у кулера, совместные обеды и корпоративы способствуют укреплению связей между сотрудниками. В удалёнке этот «социальный клей» исчезает. Задача HR — целенаправленно создавать возможности для неформальной коммуникации: виртуальные кофе-брейки, онлайн-квизы, игровые комнаты в Discord. В гибридной модели особую важность приобретает принцип «гибридного паритета», когда удалённые сотрудники имеют равный с офисными доступ к информации, возможностям для карьерного роста и участию в принятии решений [3].

Эволюция систем вознаграждения

Традиционная система бонусов, привязанная к присутствию в офисе, устаревает. На смену ей приходят персонализированные пакеты льгот, которые сотрудник может выбрать сам в соответствии со своими потребностями (система cafeteria plans). Это может быть: оплата обучения и профессионального развития, предоставление абонемента в коворкинг, компенсация расходов на высокоскоростной интернет и оборудование домашнего офиса, дополнительные дни отпуска или гибкий график [2].

Материальная мотивация все больше уступает место нематериальной, фокусирующейся на ценности для сотрудника: гибкости, автономии и возможности для роста.

Переход к удалённому и гибриднему формату работы — это не временный тренд, а устойчивая структурная перестройка рынка труда. Она порождает комплекс вызовов для рекрутинга и мотивации, требующих от организаций стратегического переосмысления HR-политик. Успех в привлечении талантов теперь в большей степени зависит от способности оценить soft skills и потенциал кандидата к работе в распределенной команде, нежели от его физического присутствия. В

сфере мотивации фокус смещается с контроля процессов на управление результатами и создание среды, основанной на доверии, заботе о благополучии сотрудников и укреплении корпоративной культуры в цифровом пространстве. Компании, которые смогут адаптировать свои HR-стратегии, перейдя от унифицированных моделей к гибким и персонализированным подходам, получают значительное конкурентное преимущество в «войне за таланты» в новой, гибридной реальности.

Литература:

1. Иванов А. В. Управление человеческими ресурсами в цифровую эпоху: вызовы гибридной работы / А. В. Иванов, Е. С. Петрова. — М.: Издательство «ИНФРА-М», 2023. — 210 с.
2. Сидорова Н. П. Рекрутинг и адаптация персонала в условиях удаленного формата / Н. П. Сидорова. — С-П: Питер, 2022. — 185 с.
3. Laloux F. Reinventing Organizations: A Guide to Creating Organizations Inspired by the Next Stage of Human Consciousness / F. Laloux. — Brussels: Nelson Parker, 2014. — 380 p.
4. Громова О. А. Психология труда и организационная психология: современные вызовы / О. А. Громова. — М: Юрайт, 2023. — 305 с.
5. World Bank Group. World Development Report 2023: Remote Work and the Global Economy / World Bank. — Washington, DC: The World Bank, 2023. — 250 p.

УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ И ЭКОНОМИЧЕСКИМИ РИСКАМИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА: НА ПРИМЕРЕ УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛАМП

В. О. Карпова

Югорский государственный университет,

г. Ханты-Мансийск, valeriakarпова05@mail.ru

Научный руководитель: Троянова Е. Н., к.э.н., доцент

В статье рассматриваются экологические и экономические риски, связанные с этапом утилизации энергосберегающих ламп. Обозначена проблема, включающая высокую стоимость создания инфраструктуры для переработки и отсутствие эффективных экономических стимулов.

This article examines the environmental and economic risks associated with the recycling of energy-saving lamps. It identifies challenges including the high cost of creating recycling infrastructure and the lack of effective economic incentives.

Внедрение энергоэффективных технологий является ключевым элементом стратегии развития любой современной энергокомпании. Однако стремление к повышению эффективности использования ресурсов неожиданно породило серьезные экологические и экономические риски, связанные с жизненным циклом новых технологий. Ярким примером этого противоречия стала массовая замена ламп накаливания на энергосберегающие аналоги: люминесцентные и светодиодные лампы. Перед организациями встала новая задача: как минимизировать риски, где затраты на утилизацию вступают в противоречие с изначальной целью экономии.

Обычные лампы накаливания являются энергоемкими и имеют относительно малый срок службы. Люминесцентные и светодиодные лампы являются более современными, они обладают некоторыми преимуществами, которые представлены на рисунке 1.

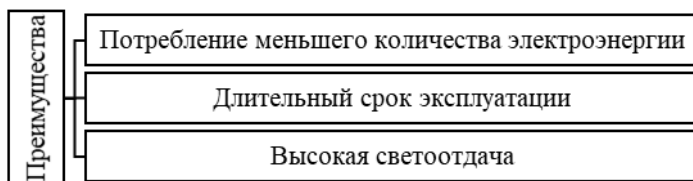


Рис 1. – Преимущества использования люминесцентных и светодиодных ламп

При переходе на данные лампы значительно снижается нагрузка на энергетические сети и появляется экономия для потребителя. Однако нельзя просто выкинуть люминесцентные и светодиодные лампы, их ключевые особенности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Особенности люминесцентных и светодиодных ламп

Особенности	Люминесцентные лампы	Светодиодные лампы
Характеристика	Содержат пары ртути	Не содержат каких-либо опасных веществ, однако созданы из материалов, которые очень долго разлагаются в природе
Тип отхода	Самые опасные отходы	Малоопасные отходы
Влияние на окружающую среду	Являются особо опасными для почвы, воды и здоровья людей	Не нанесут большой вред экологии, но увеличивают объем твердых отходов
Средняя стоимость утилизации тонны ламп	223 тыс. рублей	26 тыс. рублей.

Создание системы утилизации для предотвращения экологических проблем требует от энергокомпаний колоссальных издержек, что является для них экономически нецелесообразным. Возникает дисбаланс: компания несёт затраты, а выгоду от улучшения экологии получают потребители. Ключевые причины кризиса утилизации в России представлены на рисунке 2.

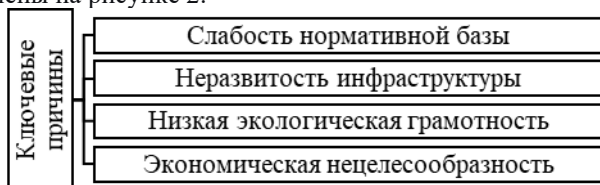


Рис 2. – Ключевые причины кризиса утилизации в России

Все причины кризиса утилизации взаимосвязаны. Слабые законодательные нормы не стимулируют развитие инфраструктуры и экологической культуры, что делает процесс сложным для потребителей. В результате инвестиции в утилизацию становятся для энергокомпаний экономически неоправданными, блокируя системное решение проблемы.

Страной, которая прилагает все меры, чтобы решить экологические и экономические проблемы, является Китай. Он справляется с утилизацией люминесцентных и светодиодных ламп через сочетание законодательных мер, использования технологий, развития

инфраструктуры и образовательные программы. Его целью является снижение экологического ущерба, связанного с захоронением не перерабатываемых отходов, и использование вторичного сырья. В Китае были введены законодательные меры, которые представлены на рисунке 3.

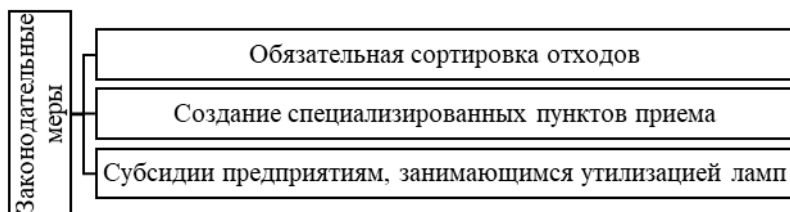


Рис 3. – Законодательные меры, реализуемые в Китае для утилизации энергосберегающих ламп

Современные технологии утилизации позволяют не только безопасно перерабатывать отходы, но и извлекать из них ценные материалы для вторичного использования, формируя экономику замкнутого цикла.

Важной частью переработки электронных отходов в Китае являются специализированные предприятия, оснащенные средствами защиты окружающей среды. Данных компаний насчитывается более 100, ежегодно перерабатывают около 170 миллионов единиц отходов.

Для российских энергокомпаний важно применять инструменты менеджмента, основные методики и их результаты представлены на рисунке 4.

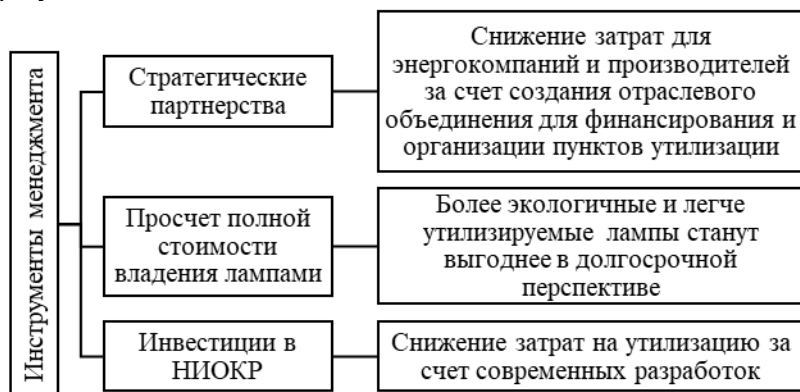


Рис 4. – Инструменты менеджмента и их результаты для минимизации экономических и экологических рисков

Решением проблемы нанесения вреда экологии из-за неправильной утилизации лампочек в России может стать создание пунктов приема, где население сможет сдавать отработанные лампы за денежное вознаграждение. Для реализации данных пунктов приема важна поддержка государства в виде грантов, также крупные энергетические компании могут учредить целевой фонд для развития данных точек сбора. Такой проект будет успешным только при условии, что он станет выгодным для всех участников процесса.

Для энергетических компаний это стратегические инвестиции в свою репутацию. Они решают проблему утилизации косвенно, без прямого управления активами, и снимают с себя репутационные риски, связанные с загрязнением окружающей среды.

Если государство реализует данный грант, то получает инструмент для выполнения национальных экологических проектов. Снижаются расходы на ликвидацию ущерба окружающей среде, создаются новые рабочие места и формируется инфраструктура для переработки отходов.

Стартовые затраты — аренда помещений, закупка оборудования, логистика и информирование населения — могут покрываться за счет государственных грантов и целевого фонда, учрежденного энергетическими компаниями. Успешный опыт Китая доказывает, что выход из этой проблемы возможен лишь через продуманную государственную политику и создание замкнутых производственных циклов.

Таким образом, создание мотивирующей системы утилизации позволяет преобразовать экологическую проблему в экономическую возможность. Такой подход не только решает вопрос с опасными отходами, но и создает новый рынок услуг, способствующий устойчивому развитию и формированию экологической ответственности у всех участников процесса.

Литература:

1. Утилизация светодиодных и других энергосберегающих ламп: правила и особенности процесса [Электронный ресурс] // Малоэтажная страна: [сайт]. — URL: <https://m-strana.ru/design/utilizatsiya-svetodiodnykh-lamp/> (дата обращения: 01.10.2025).

2. Непростые отходы: утилизация отработанных ламп [Электронный ресурс] // [elec.ru](https://www.elec.ru): [сайт]. — URL: <https://www.elec.ru/publications/osveschenie/6219/?ysclid=mgxpmii9k8328926329> (дата обращения: 01.10.2025).

3. Что дает замена обычных ламп на светодиодные [Электронный ресурс] // [ksosvet](https://ksosvet.ru): [сайт]. — URL: <https://ksosvet.ru/blog/zamena->

svetilnikov-na-svetodiodnye-preimushchestva-i-primery-kejsov/ (дата обращения: 01.10.2025).

4. Световая дуэль: лампочки LED против КЛЛ [Электронный ресурс] // overclockers: [сайт]. — URL: <https://overclockers.ru/blog/Mirakl/show/121148/svetovaya-duel-lampochki-led-protiv-klk> (дата обращения: 01.10.2025).

5. Переработка и сортировка мусора в Китае [Электронный ресурс] // ok-stanok : [сайт]. — URL: <https://ok-stanok.ru/article/pererabotka-othodov-v-kitae> (дата обращения: 10.10.2025).

6. Современные заводы по переработке отходов в энергию в Шэньчжэне и Тяньцзине [Электронный ресурс] // tehne : [сайт]. — URL: <https://tehne.com/event/novosti/sovremennyye-zavody-po-pererabotke-othodov-v-energiyu-v-shenchzhene-i-tyanczine> (дата обращения: 10.10.2025).

7. В Китае мощности переработки электронных отходов достигли уровня 170 миллионов единиц в год [Электронный ресурс] // scraptraffic: [сайт]. — URL: <https://scraptraffic.com/blog/blog-article-462> (дата обращения: 10.10.2025).

8. Карпова В. О. Проблемы цифровой трансформация электроэнергетики в современных экономических условиях / В. О. Карпова, Е. Н. Троянова // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов. В 8-ми частях. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2025. – С. 399-403. – EDN BOTXSU.

9. Плеханова В. Е. Современные проблемы реализации экологической политики России на примере энергетических компаний / В. Е. Плеханова, Е. Н. Троянова // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов. В 8-ми частях. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2025. – С. 414-419. – EDN DVKRGH.

10. Смирнов К. А. Проблемы повышения энергосбережения на предприятиях металлургического комплекса в современных экономических условиях / К. А. Смирнов, Е. Н. Троянова // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов. В 8-ми частях. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2025. – С. 422-426. – EDN DBUSHH.

11. Ямзин К. Е. Климатическая политика России как стимулирующий фактор применения экологичных технологий в энергетической отрасли / К. Е. Ямзин, Е. Н. Троянова // Наука. Технологии. Инновации: XVII Всероссийская научная конференция молодых ученых: Сборник научных трудов в 11-ти частях, Новосибирск, 04–08 декабря 2023 года. –

Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2024. – С. 181-185. – EDN ATFPSV.

12. Кузмин В. А. Современные направления применения искусственного интеллекта в энергетике / В. А. Кузмин, Е. Н. Троянова // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов конференции, Новосибирск, 30 ноября – 04 2020 года. Том Часть 4. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2020. – С. 248-252. – EDN RQFRSM.

КАДРОВАЯ ПОЛИТИКА В ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТАХ: ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ И АДАПТАЦИИ КОМАНД ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ВЫВОДА НА РЫНОК НОВОГО ПРОДУКТА

А. А. Кашин

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Юдина Л. Н. к.э.н., доцент

В статье исследуются подходы к формированию и адаптации команд в инновационных проектах для успешной разработки нового продукта. Особое внимание уделено особенностям кадровой политики, ролевой структуре команд и гибких методологиях управления. Описаны механизмы развития профессиональных и личностных компетенций, а также современные инструменты мотивации для проектных групп в условиях высокой неопределенности.

The article explores approaches to team formation and adaptation in innovative projects for successful new product development. The main focus is on the features of personnel policy, team role structure and flexible project management methodologies. Mechanisms for developing professional and personal competencies, as well as modern motivational tools for project teams under high uncertainty, are described.

В современной экономике, характеризующейся высокой турбулентностью и ускорением технологических циклов, способность организации к созданию и успешному выводу на рынок новых продуктов становится ключевым фактором конкурентоспособности и долгосрочного выживания компаний. Инновационные проекты, лежащие в основе этого процесса, кардинально отличаются от традиционной операционной деятельности. Их сущностные характеристики, такие как высокая степень неопределенности, уникальность задач и сжатые временные рамки, предъявляют особые требования к системе управления человеческими ресурсами. Практика показывает, что значительная доля

неудач инновационных начинаний связана не столько с технологическими или финансовыми просчетами, сколько с неэффективным управлением командами. Стандартные подходы к кадровой политике, ориентированные на стабильность, стандартизацию и четкую иерархию, оказываются нерелевантными в контексте инноваций. Целью этой статьи является системный анализ специфики кадровой политики в инновационных проектах, а также исследование подходов к формированию и адаптации команд, направленных на максимизацию вероятности успешной разработки и коммерциализации нового продукта.

Специфика инновационных проектов как объект кадровой политики.

Для выработки оптимальной кадровой политики необходимо прежде всего определить сущностные отличия инновационного проекта от стандартного проекта с операционной деятельностью. Если последняя направлена на воспроизводство и оптимизацию существующих процессов, то инновационная деятельность ориентирована на поиск и создание новых решений. Этот дуализм был глубоко изучен в концепции «амбидекстерных организаций», предложенной Ч. О'Райли и М. Ташманом. Они доказывают, что успешные компании должны одновременно эффективно управлять и существующим бизнесом, и инновациями, что требует принципиально разных управленческих структур, процессов и, соответственно, кадровых подходов.

Инновационный проект характеризуется фундаментальной неопределенностью результата, путей его достижения и реакции рынка. Эта среда требует от участников проекта не столько исполнительности и следования инструкциям, сколько проактивности, креативности и способности принимать решения в условиях недостатка информации. Следовательно, кадровая политика не может быть сведена к простому набору административных процедур по найму и увольнению [1]. Она трансформируется в стратегический инструмент, обеспечивающий проект необходимым человеческим капиталом, способным функционировать в режиме постоянного поиска и эксперимента. Ключевой задачей становится не подбор исполнителей под четко определенные функции, а конструирование целостной социально-психологической системы — команды, обладающей синергетическим эффектом и внутренней устойчивостью к стрессу и неудачам, которые неизбежны в инновационном процессе.

Формирование команды является отправной точкой, закладывающей фундамент будущего успеха или провала проекта. Этот процесс должен носить комплексный характер, учитывающий не только

профессиональные, но и личностные, а также ролевые характеристики кандидатов [6].

Все же, одним из важнейших факторов подбора кандидатов является их компетенции. Однако набор ключевых компетенций для инновационной команды существенно отличается от стандартного. Наряду с узкоспециализированными техническими знаниями, на первый план выходят так называемые *softskills*. Исследования показывают, что критически важными становятся когнитивная гибкость, то есть способность быстро переключаться между различными идеями и концепциями, и обучаемость. Также необходимы развитые коммуникативные навыки для обеспечения эффективного взаимодействия между участниками проекта. Устойчивость к неопределенности также необходима. Современная практика тяготеет к формированию команд из так называемых «Т-образных специалистов» — профессионалов, обладающих глубокой экспертизой в одной области и широким кругозором в смежных дисциплинах. Такая структура способствует созданию нетривиальных идей на стыке различных областей знаний [2].

В формировании команды не менее важен ролевой подход. Классическая модель командных ролей Мередита Белбина, хотя и была разработана в ином контексте, может быть адаптирована под инновационные проекты. Так, в команде обязательно должен присутствовать «Генератор идей», способный предлагать оригинальные решения, и «Исследователь ресурсов», который ищет новые возможности во внешней среде. Однако критически важной становится роль «Чемпиона продукта» — неформального лидера, обладающего верой в проект, энергией и способностью «продавать» идею как внутри организации, так и за ее пределами [3]. Отсутствие такого энтузиаста часто приводит к тому, что перспективный проект затухает из-за бюрократической волокиты или потери веры со стороны команды.

Формирование команды — это лишь первый шаг. Учитывая, что инновационный проект развивается нелинейно, с постоянными изменениями требований и внешних условий, ключевое значение приобретают механизмы адаптации команды. Кадровая политика должна обеспечивать не статичное состояние, а динамическое развитие коллектива [5].

Важнейшим инструментом адаптации является внедрение гибких методологий управления проектами, таких как Agile, Scrum или Kanban. Эти подходы, построенные на итеративности, коротких циклах обратной связи и регулярной рефлексии, органично встроены в процесс адаптации. Они заставляют команду постоянно анализировать свою работу,

выявлять проблемы и корректировать как сам продукт, так и процессы взаимодействия внутри коллектива.

Стиль лидерства также является мощным инструментом адаптации. В инновационных проектах директивный стиль управления оказывается контрпродуктивным. Наиболее эффективными признаны трансформационное и сервисное лидерство. Лидер выступает не в роли начальника, раздающего указания, а в роли наставника, фасилитатора и защитника команды. Его задача — устранять препятствия, обеспечивать команду необходимыми ресурсами, вдохновлять и поддерживать высокий уровень мотивации, а также защищать от излишнего бюрократического давления со стороны основной организации.

Таким образом, кадровая политика в инновационных проектах представляет собой сложную, многоаспектную систему, которая не может быть построена на стандартных HR-инструментах. Успех разработки и вывода нового продукта на рынок напрямую зависит от способности компании отойти от шаблонов и выстроить целостный подход, ориентированный на специфику инновационной деятельности.

Этот подход должен базироваться на стратегическом формировании команды с учетом не только профессиональных компетенций, но и ролевого баланса и психологического разнообразия. Создание атмосферы психологической безопасности является необходимым условием для раскрытия творческого потенциала и готовности к риску [7]. В дальнейшем, на протяжении всего жизненного цикла проекта, кадровая политика должна обеспечивать непрерывную адаптацию команды через внедрение гибких методологий управления, применение трансформационного стиля лидерства и использование нелинейных систем мотивации, поощряющих обучение и эксперименты, а не только конечный результат. Роль HR-службы трансформируется из административно-контролирующей в роль стратегического партнера, архитектора и хранителя инновационной культуры в проектной команде. Именно такой комплексный и динамичный подход позволяет превратить человеческий ресурс из фактора затрат в главный драйвер инновационного развития организации.

Литература

1. Белбин Р. М. Команды менеджеров. Секреты успеха и причины неудач. — М.: НИРО, 2003. — 315 с.
2. Ташман М., О'Райли Ч. Амбидекстерная организация. Управлять настоящим, создавать будущее. — М.: Альпина Паблишер, 2023. — 320 с.
3. Дракер П. Ф. Инновации и предпринимательство. — Харпер энд Роу, 1985. — 277 с.

4. Эдмондсон Э. С. Бесстрашная организация: Создание психологической безопасности на рабочем месте для обучения, инноваций и роста. — Уайли, 2018. — 256 с.

5. Рис Э. Бережливый стартап: Как современные предприниматели используют постоянные инновации для создания радикально успешных бизнесов. — Краун Бизнес, 2011. — 336 с.

6. Сазерленд Дж., Сазерленд Дж. Дж. Scrum: Искусство делать вдвое больше работы за половину времени. — Краун Бизнес, 2014. — 256 с.

7. Кристенсен К. М. Дилемма инноватора: Когда новые технологии приводят к гибели великих компаний. — Гарвард Бизнес Ревью Пресс, 1997. — 288 с.

АКТУАЛЬНОСТЬ НОРМИРОВАНИЯ ТРУДА ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ КОМПАНИИ

А. А. Клименко, Е. В. Крылова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, alineklimenko@yandex.ru

Научный руководитель: Крылова Е. В., к.э.н., доцент

Обоснована необходимость пересмотра устаревших нормативов труда для оперативного персонала генерирующих компаний. Проанализированы классические методы нормирования и выявлена их недостаточная эффективность в условиях цифровой трансформации энергетики. Показано, что современные технологии (АСУ ТП, SCADA) требуют разработки новых нормативов, учитывающих интеллектуальную нагрузку персонала и основанных на анализе реальных данных.

The article substantiates the need to revise outdated labor standards for operational personnel of generating companies. Classical labor rationing methods are analyzed and their insufficient effectiveness in the context of energy digital transformation is revealed. It is shown that modern technologies (ACS TP, SCADA) require the development of new standards that consider personnel's intellectual load and are based on real data analysis.

Сегодня предприятия энергетики сталкиваются с вызовами высокими коммерческими требованиями для снижения операционных затрат и себестоимости отпускаемой энергии. Но при этом ключевым требованием в генерации энергии остаётся обеспечение безаварийной, надёжной и устойчивой работы. Все чаще на предприятиях для сокращения трудозатрат вводят в технологию управления забытый метод нормирования труда персонала рабочих и служащих. На предприятиях энергетики рекомендации по нормированию труда

работников энергетического хозяйства и нормативы численности рабочих котельных установок и тепловых сетей утверждались приказом Госстроя России в 1999 году. [1] За этот период времени в технологический процесс генерации тепловой и электрической энергии на определенных участках введена частичная или полная автоматизация систем управления производственными процессами. Любая автоматизация производства влечет за собой сокращение трудозатрат ручного труда, что ведет к актуализации пересмотра справочников нормирования по труду оперативного персонала тепловой электрической станции. [3]

Нормирование труда – это вид деятельности по управлению производством, целью которого является определение необходимых затрат времени и результатов труда.

Целью формирования норм можно считать повышение эффективности труда и оптимизацию использования ресурсов без нарушения производственного процесса.

К формированию научно обоснованных нормативов трудовой деятельности применяются следующие основные методики: хронометрирование, фотохронометраж рабочего дня и метод выборочных моментных наблюдений.

Хронометрический подход основан на фиксации временных интервалов, затрачиваемых на выполнение отдельных производственных операций или их элементов. Практическая реализация метода требует четкого определения границ изучаемой операции, установления необходимого количества замеров для обеспечения репрезентативности данных. Следует отметить, что увеличение количества наблюдений повышает достоверность результатов, но одновременно увеличивает трудоемкость и стоимость процесса нормирования. В процессе обработки первичных данных исключаются аномальные значения, а также замеры, выполненные в условиях технологических сбоев. Статистическая обработка результатов предполагает вычисление средневзвешенных временных показателей, принимаемых в качестве нормативных.

Фотохронометраж рабочего времени направлен на анализ структуры трудового дня и позволяет выявить резервы оптимизации за счет устранения непроизводительных затрат времени.

Метод моментных наблюдений характеризуется возможностью одновременного изучения трудовой деятельности группы сотрудников (15-20 человек) силами одного наблюдателя. Сущность методики заключается в регистрации видов занятости работников в случайные моменты времени с фиксированной периодичностью обхода (10-15

минут). Объем необходимых наблюдений определяется требуемой точностью итоговых показателей [2].

Таким образом анализ функций нормирования демонстрирует его двойственную пользу: для работодателя оно создает прозрачную основу для управления затратами и производительностью, а для работника обеспечивает четкое понимание трудовых обязанностей и справедливую оценку их труда. [4]

Исторической основой для нормирования в отечественной энергетике служат советские межотраслевые нормативы, такие как фундаментальный справочник «Межотраслевые нормативы времени на работы по техническому обслуживанию энергетического оборудования электростанций». Несмотря на свою системность и детальную проработку, эти документы в значительной степени утратили практическую актуальность.

Во-первых, они были разработаны для технологического уклада, характеризующегося преобладанием ручного труда, механического контроля и планово-предупредительной системы ремонтов. Современная энергетика претерпела цифровую трансформацию: повсеместное внедрение АСУ ТП, систем SCADA и цифровых двойников. Если советские нормативы фиксировали время на физические обходы, снятие показаний с механических приборов и ручные регулировки, то сегодня, при сохранении базовых операций внутри смены оперативного персонала, время на выполнение задач изменилось.

Во-вторых, изменилась сама парадигма управления оборудованием. Операции, которые ранее являлись стандартными и периодическими, стали зависящими от диагностических данных, что требует гибких, а не жестко регламентированных нормативов.

В-третьих, советская система нормирования была слабо адаптирована к требованиям рыночной экономики и современного тарифного регулирования. В условиях, когда обоснованность затрат необходимо доказывать перед регулирующими органами, такими как ФАС России, требуются прозрачные и экономически верифицируемые методы расчета, которые могут быть построены на основе анализа реальных данных, а не на устаревших нормативных базах.

Применение норм труда на энергетическом предприятии может помочь определить количество времени на выполнение операции, объём работ и численность персонала для определённого вида работ, опираясь на технологический цикл. Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о целесообразности пересмотра устаревших нормативных источников, для повышения эффективности организации труда на предприятиях генерации энергии.

Литература

1. Об учете библиотечного фонда библиотек образовательных учреждений [Электронный ресурс]: Приказ Госстроя России от 22.03.1999г. № 65 // Справочно-правовая система «Консультант Плюс». — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_97615/5701b2d18a52a0323aed1642171ff48f718cc102/ (дата обращения: 23.11.2025).
2. Новицкий Н. И. Организация производства на предприятиях: Учеб. метод. пособие. - М.: Финансы и статистика, 2003 - 392 с.
3. Фадеева И. Е., Андреев А. А. Совершенствование системы нормирования труда промышленного предприятия // Вестник АГТУ. Серия: Экономика. 2019. №3.
4. Бычин В. Б., Организация и нормирование труда. Т. 2: учебник / В. Б. Бычин, Е. В. Шубенкова, С. В. Малинин. — М.: Русайнс, 2022. — 373 с.

ЭТАПЫ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ

Е. С. Кудаева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, botvinina.elizaveta02@mail.ru**

Научный руководитель: Гришина Е. А., к.э.н., доцент,

В условиях динамично меняющегося мира энергетика страны переживает масштабные преобразования, вызванные санкционным давлением, необходимостью ускоренного импортозамещения и достижения технологического суверенитета страны. Значительная часть оборудования имеет иностранное происхождение, поэтому особую актуальность приобретает реверс-инжиниринг, который становится ключевым инструментом адаптации для создания отечественных аналогов оборудования и обслуживания на протяжении всего жизненного цикла.

In a dynamically changing world, the country's energy sector is undergoing large-scale transformations caused by sanctions pressure, the need for accelerated import substitution and the achievement of the country's technological sovereignty. A significant part of the equipment is of foreign origin, therefore, reverse engineering is becoming particularly relevant which is becoming a key adaptation tool for creating domestic analogues of equipment and maintenance throughout the entire life cycle.

Реверс-инжиниринг – это процесс анализа существующего объекта для определения его конструкции, функциональности и принципов работы [1]. По своей сути он меняет представление о классических

инженерных процессах, где изначально все начинается с создания концепции и технической документации, и движется до готового изделия. Реверс-инжиниринг работает совершенно наоборот, начиная с готового изделия, которое детально изучается и воспроизводится с воссозданием всей необходимой документацией, с целью создания аналогичной или улучшенной версии.

Одной из наиболее современных и значимых технологий, используемых в реверс-инжиниринге, стало сочетание 3D-сканирования и аддитивного производства. Эти методы позволили вывести процесс восстановления физических объектов на новый уровень. Технология представляет собой комплексный многоэтапный процесс, который охватывает весь цикл — от первоначального сканирования объекта до создания окончательной цифровой модели [2].

Этапы создания деталей при использовании метода реверс-инжиниринг:

1. Подготовка проекта. Выбор объекта для сканирования, определения сложности детали, необходимой точности и детализации её сканирования

2. Подготовка к сканированию заданного объекта. В частности, для получения точного изображения 3D модели, зеркальные поверхности детали покрывают специальной краской для устранения отражений.

3. Сканирование детали. В зависимости от сложности, размеров и географического расположения детали используются разные виды сканера: ручной, лазерный или структурированного света. В результате сканирования регистрируются трехмерные координаты точек, создавая облако точек.

4. Обработка данных облаков точек. Вручную или при помощи специально разработанных программ производится редактирование облаков точек, соединенных между собой в большое количество полигонов, то есть устранение шума и оптимизация плотности облака точек. Обычно такие модели представлены в форматах OBJ, PLY или STL.

5. Создание CAD модели. Основываясь на полученном облаке точек, инженеры создают конструкторскую модель, максимально точно отражающую реальный объект. Для создания конструкторской модели используют операции по восстановлению поврежденных поверхностей, идентификации краев, операцию “круговой массив” и другие.

6. Финальная проверка разработанной CAD модели, сопоставление с реальным объектом. На данном этапе готовую 3D модель оценивают на отклонение от реального скана. Совпадение с первоначальной моделью должно быть не менее 50 % [2].

В современном мире реверс-инжиниринг используется в основном в промышленных капиталоемких отраслях, таких как энергетика, нефтегазовое дело, машиностроение, авиационно-космическая отрасль, военно-промышленный комплекс, ИТ и программное обеспечение.

Ведущими странами, активно применяющими реверс-инжиниринг для развития промышленного сектора, являются Китай и Индия. В России эта практика только начинает получать распространение.

Например, при модернизации гидроагрегатов Саяно-Шушенской ГЭС возникла необходимость замены одной из рабочих крыльчаток турбины. Поскольку конструкторская документация отсутствовала, специалисты применили технологию реверс-инжиниринга: создали цифровой двойник детали, адаптировали форму лопастей под доступные отечественные сплавы и внесли изменения в конструкцию для повышения коррозионной стойкости. В результате сроки изготовления и монтажа сократились втрое по сравнению с заказом у зарубежного производителя, а экономический эффект превысил 12 млн рублей. Проект стал первым промышленным примером внедрения реверс-инжиниринга на крупных гидроэлектростанциях России [3].

Одним из лидеров в сфере реверс-инжиниринга в России является ООО «Русь-Турбо». Данная компания развивает собственное производство запасных частей для ремонта и восстановления энергетического оборудования. Технологии «Русь-Турбо» позволяют обслуживать и ремонтировать все типы современных паровых и газовых турбин, генераторов и вспомогательных агрегатов, включая продукцию Siemens, Kawasaki, Mitsubishi, Voith Turbo, Howden и ABB [4].

Одним из ведущих российских инжиниринговых центров является также «Инжиниринговый Центр Кронштадт». Центр выполняет капитальный ремонт зарубежных турбин, компрессоров, насосов и роторно-управляемых систем с применением методов реверс-инжиниринга. Кроме того, центр активно сотрудничает с ВУЗами и участвует в образовательных программах, обучая новое поколение инженеров современным подходам к инжинирингу, включая цифровое моделирование, анализ материалов и оптимизацию конструкции. «Инжиниринговый Центр Кронштадт» также занимается разработкой и производством компонентов для модернизации оборудования, адаптируя его под отечественные стандарты и материалы. Такие компетенции особенно актуальны в условиях ограниченного импорта и необходимости обеспечения надежной работы критически важного промышленного оборудования, а также способствуют повышению технологической независимости российских предприятий [5].

Таким образом, реверс-инжиниринг является стратегическим инструментом технологической независимости России и важной частью современного инженерного подхода в энергетике. На сегодняшний день, инжиниринг представляет собой мультидисциплинарный комплекс мероприятий, включающий не только строительство и модернизацию инфраструктуры, но и оценку их технико-экономической эффективности. Реверс-инжиниринг позволяет восстанавливать и модернизировать оборудование, снижать затраты и сроки производства. Развитие собственного производства и инженерных компетенций создаёт основу для формирования уникальной технологической базы и обеспечивать устойчивое развитие промышленности и энергетики страны.

Литература

1. Что такое реверс-инжиниринг и как он применяется в современном мире? [Электронный ресурс]. — URL: <https://skyeng.ru/it-industry/it/chto-takoe-revers-inzhiniring-i-kak-on-rabotaet/> (дата обращения: 23.11.2025).
2. 3D-сканирование и реверс-инжиниринг: ключевые шаги обратного проектирования [Электронный ресурс]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/top3dshop/articles/824678/> (дата обращения: 25.11.2025).
3. Обратный инжиниринг для ТОиР на предприятиях ТЭК, горно-металлургического комплекса и машиностроения [Электронный ресурс]. — URL: <https://blog.seymartec.ru/2025/06/30/reverse-engineering-for-maintenance-and-repair/> (дата обращения: 27.11.2025).
4. Реверс-инжиниринг в энергетике от «Русь-Турбо»: тонкости подхода в сочетании с уникальностью решений [Электронный ресурс]. — URL: <https://energybase.ru/news/articles/revers-inzhiniring-v-energetike-ot-rus-turbo-tonkosti-podhoda-v-socetanii-s-unika-2025-05-30> (дата обращения: 29.11.2025).
5. Инжиниринговый центр Кронштадт. Инжиниринг и производство оборудования для промышленности [Электронный ресурс]. — URL: <https://ic-k.ru/#1> (дата обращения: 28.11.2025).

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОЦЕНКИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. О. Кузнецов, Е. В. Крылова

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, krylova@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Крылова Е. В., к.э.н., доцент

Рассмотрены направления оценки цифровизации в различных областях энергетики. Перечисленные направления оценки цифровизации в различных областях энергетики помогают определить наиболее эффективные решения в сфере электрических сетей.

The areas of digitalization assessment in various fields of energy are considered. The listed areas of digitalization assessment in various fields of energy help to identify the most effective solutions in the field of electrical networks.

Цифровая трансформация отраслей ТЭК – это внедрение информационных технологий во все сферы работы компаний ТЭК. Этот процесс влечет за собой фундаментальные преобразования в подходах и методах ведения производственной деятельности. Цель – увеличение финансовой отдачи за счет оптимизации трудовых ресурсов и сокращения операционных расходов. Это реализуется посредством использования передовых цифровых инструментов и анализа больших массивов данных при взаимодействии с государственными структурами и между участниками отрасли.[4]

В настоящее время разворачивается активное соперничество в сфере цифровой трансформации различных секторов экономики. Тем не менее, степень внедрения цифровых решений в той или иной отрасли не является самоцелью. Цифровые технологии представляют собой современный инструмент для оптимизации производительности и сокращения как капитальных, так и текущих издержек. Интеграция цифровых решений способствует уменьшению себестоимости продукции и снижению вредного влияния промышленных предприятий на экологию. Именно ориентация на достижение конкретных результатов при внедрении цифровых технологий обеспечивает наибольшую выгоду от цифровой трансформации. [1]

В эпоху цифровой трансформации, пронизанной множеством технологических инноваций, возникает необходимость в создании разнообразных технических решений. В связи с этим основной задачей для успешной ориентации в мире цифровой трансформации является

накопление, анализ и структурирование методов оценки эффективности проектов, реализуемых промышленными компаниями. [3]

Основой для разработки таких решений служат аналитические исследования перспектив развития отрасли, стратегические и прогнозные документы, а также сравнительный анализ передового опыта лидеров цифровой трансформации как в России, так и за рубежом. [3]

На основе анализа различных моделей оценки цифровой зрелости и с учетом специфики компаний, работающих в сфере электроэнергетики, были выделены четыре ключевые области, которые оказывают решающее влияние на успех процессов трансформации:

- «стратегия» – направление включает в себя анализ, направленный на выявление наличия у компании четко сформулированной стратегии и эффективных процедур стратегического планирования. Кроме того, портфель проектов и направлений инвестирования оценивается на соответствие заявленной стратегии цифровой трансформации.; [2]

- «данные» – направление предполагает доступ к актуальной информации в режиме реального времени с гарантированной защитой конфиденциальности, а также полноту, точность и пригодность данных для эффективного принятия решений.;[2]

- «клиенты» – направление охватывает все аспекты взаимодействия организации с потребителями, от качества обслуживания до сегментации клиентов, распределения ролей и обязанностей персонала и анализа данных о клиентах. [2]

- «технологии» – направление содержит анализ используемых технологий, степени внедрения проектных решений и цифровых инфраструктур, а также сравнительный обзор с передовыми подходами к управлению. [2]

Перечисленные направления оценки цифровой трансформации в деятельности электросетевого предприятия помогают определить наиболее эффективные решения. Учет различных аспектов, позволяет принять верное управленческое решение, провести актуальный SWOT-анализ и построить эффективную целевую бизнес-модель компании для её устойчивого развития.

Литература:

1. Рябчинский М. А., Control Engineering - 2021. - с. 58-61.
2. Гилева Т. А., Галимова М. П., Бастрикова О. И., Развитие инновационного профиля территории: цифровая трансформация ключевых объектов инфраструктуры. - 2023. - с. 45-51.

3. Оценка цифровой зрелости электроэнергетической отрасли России [Электронный ресурс]. — URL: <https://rum.cis-ees.ru/article/ocenka-czifrovoj-zrelosti-elektroenergeticheskoy-otrasli-rossii/> (дата обращения: 24.11.2025).

4. Digital Transformation in Energy: The Power Move Utilities Can't Ignore [Electronic resource]. — URL: <https://www.abiresearch.com/blog/digital-transformation-in-energy> (accessed: 24.11.2025).

ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНКУРЕНТНУЮ ПОЗИЦИЮ ООО «ЭЛЕКТРОПРОФИ»

Е. Е. Марченко, Г. А. Семакина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, marchenko176@mail.ru**

Научный руководитель: Семакина Г. А., к.э.н., доцент

Статья посвящена исследованию проблем управления конкурентоспособностью и тенденции развития отрасли электротехнического оборудования, а также их влияние на конкурентную позицию предприятия ООО «ЭЛЕКТРОПРОФИ».

The article is devoted to the study of the problems of competitiveness management and the development trends of the electrical equipment industry, as well as their impact on the competitive position of the ООО «ELECTROPROFI» enterprise.

Рынок низковольтных комплектующих устройств (НКУ) и электрощитового оборудования является важным компонентом электротехнической отрасли в России. Он обеспечивает надежное энергоснабжение промышленности, объектов инфраструктуры и жилого сектора. Рынок изменяется, его состояние переходит на курс импортозамещения, цифровизации. Несмотря на заметный рост одним из главных вопросов современности, с которым сталкиваются предприятия, является контроль качества продукции и степень ее совершенствования, а именно «качественный разрыв» между увеличивающимся спросом и способностью производителей России всегда предоставлять высокое качество продукции. Отрасль переживает сильный кризис.

Актуальность темы обусловлена стратегической важностью отрасли для энергетической безопасности и технологического суверенитета России. Оптовые продажи устройств для коммутации и защиты электросетей в России за год выросли на 22% и достигли 116,3 млрд. руб.,

что свидетельствует о значительном росте и активном запуске новых производственных мощностей.

Тем не менее внешняя среда сопровождается угрозами отрасли, связанными с недостаточной компонентой базой. Импортные поставки электроники сократились на 30%, а объем производства отечественных электрических конденсаторов в 2024 году уменьшился на 8,6% (до 81,9 млн.шт.), что увеличило сроки производства и себестоимость продукции на 12-15% из-за усложненной логистики. [1,2]

Главной проблемой производителей является зависимость от импорта (до 40% в сегменте сложной автоматики) и небольшое количество аналогов, что приводит к большим затратам на сборку и поломки оборудования в гарантийный период. Высокий объем импорта электрооборудования связан в первую очередь с тем, что российские производители не выпускают весь ассортимент требуемой продукции, а выпускаемая продукция часто не соответствует необходимому качеству, и отечественное электрооборудование во многих случаях уступает уровню оборудования западных предприятий. [4,5]

Объектом исследования в работе выступает ООО «ЭЛЕКТРОПРОФИ», предприятие определяет себя как производитель НКУ среднего и высокого ценового сегмента. Предприятие проектирует весь спектр НКУ для коммерческого, жилого и промышленных секторов с номинальным током до 6300 А. Производственные мощности позволяют выпускать до 1500-2000 ед. щитового оборудования в год.

Доля рынка ООО «ЭЛЕКТРОПРОФИ» в Сибирском федеральном округе (СФО) составляет 4-7% (Преобладают поставки в Новосибирске, Иркутске, Красноярске, Томске). Конкурентоспособность предприятия становится выше в данном регионе из-за близости поставок и специализации на сложном оборудовании.

По данным анализа финансовых показателей предприятия, выручка за 2022-2024 составляет 3500-4800 млн. руб., темп роста выручки составляет 25% в год, что соответствует общеотраслевым трендам. Данные показатели обусловлены уходом западных предприятий и местных сборщиков, которые работают по сертификату соответствия ГОСТ Р 32395-2020.[3]

С учетом вышеуказанных тенденций развития отрасли и проблем можем провести SWOT-анализ конкурентной позиции предприятия.

Таблица 1 – SWOT-анализ ООО «ЭЛЕКТРОПРОФИ»

Сильные стороны: Свой штат проектировщиков и испытательных стендов снижающие риск брака. Сертификация по ГОСТ Р, сертификаты на серийный выпуск (до 6300 А), позволяет участвовать в тендерах и госзакупках. Индивидуальный подход к заказчикам.	Слабые стороны: Более высокая себестоимость, чем у сборщиков, имеющих дешёвые материалы. Бренд мало узнаваем за пределами своей отрасли. Комплектующие премиум класса доставляются дольше, чем низкого класса.
Возможности: Растет спрос (прогноз 20%) на умные щиты с IoT-модулями (интернет вещей) Занятие ниш, которые освободились после ухода европейских предприятий Участие в национальных проектах по улучшению инфраструктуры и жилых помещений.	Угрозы: Нарушение сроков поставок электронных запчастей из-за рубежа. Недостаток квалифицированных специалистов на рынке труда. Появление новых игроков на рынке, которые будут предлагать менее качественный товар по низким ценам.

Как видим из приведенного анализа, состояние внешней среды снижает конкурную позицию предприятия из-за основных угроз, таких как нарушение сроков поставок, недостаток квалифицированных специалистов, появление новых игроков на рынке, но вместе с тем открывает новые возможности в связи с растущим спросом, поддержкой отечественных производителей, переходом на импортозамещение, что позволяет предприятию укрепить свои конкурентные позиции

Учитывая вышеизложенное, можно сделать следящий вывод, рынок низковольтных комплектующих устройств и электрощитового оборудования в России характеризуется высоким вниманием, уделяемым качеству продукта, объемам на фоне изменений в структуре логистики. Предприятие ООО «ЭЛЕКТРОПРОФИ» занимает устойчивую позицию на рынке благодаря стандартам ГОСТ и техническому потенциалу. Соблюдение контроля качества и реализация стратегии цифровизации позволят компании расшириться на рынке и уменьшить влияние внешней среды

Литература:

1. Гаврикова Е. А. Проблемы выбора стратегии повышения конкурентоспособности предприятия на рынке электротехнической продукции // Экономика – 2018. – №2.- С. 42–48.
2. ГОСТ Р 32395-2020. Щиты распределительные для жилых зданий. Общие технические условия. – Введ. 2021–07–01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 31 с.
3. Жилин Н. В. Конкурентоспособность продукции предприятия // Экономика и социум. – 2024. – №4(13). – С. 1329–1331.
4. Панков Д. А. Российский рынок электротехнического оборудования-проблемы сегодняшнего дня // Вычислительные нанотехнологии. – 2022. – №3(85). – С. 61–63.
5. Савич Ю. А. Управление конкурентоспособностью и устойчивым развитием производственных предприятий в условиях цифровой трансформации экономики // Экономинфо – 2023. – №1.- С. 35–44.

СТРАТЕГИИ И ИНСТРУМЕНТЫ УДЕРЖАНИЯ КЛЮЧЕВОГО ПЕРСОНАЛА В СОВРЕМЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Э. Р. Николаева

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Юдина Л. Н., к.э.н., доцент

Статья посвящена разработке комплексной модели удержания ключевого персонала в современных организациях. Систематизированы факторы, влияющие на лояльность ценных сотрудников, предложена оригинальная методика расчета индекса удержания. Модель основана на синтезе экономических, психологических и управленческих подходов и включает систему практических инструментов для кадровой службы.

The article is devoted to the development of a comprehensive model for retaining key personnel in modern organizations. The factors influencing the loyalty of valuable employees are systematized, and an original methodology for calculating the retention index is proposed. The model is based on the synthesis of economic, psychological and managerial approaches and includes a system of practical tools for personnel service.

В условиях глобальной конкуренции на рынке труда и цифровой трансформации экономики проблема удержания ключевых сотрудников становится стратегической для обеспечения устойчивого развития организаций [1]. Под ключевым персоналом мы понимаем сотрудников, обладающих уникальными компетенциями, значимым опытом и оказывающих существенное влияние на бизнес-результаты компании.

Целью данного исследования является разработка комплексной модели удержания, интегрирующей финансовые и нефинансовые инструменты.

Базовым уровнем любой системы удержания является справедливая и конкурентная система вознаграждения. Однако традиционные модели грейдинга часто не успевают за динамикой рынка. В качестве решения предлагается использовать адаптивную систему расчета окладов на основе мониторинга рынка труда и вклада сотрудника.

Эффективность такого подхода можно оценить с помощью предлагаемого коэффициента ретентивной ценности (КРЦ), который рассчитывается по формуле:

$$Крц = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * W_i}{C_3 + C_n}$$

где S_i - оценка значимости i -го фактора удержания,

W_i - его вес.

C_3 – затраты на замену сотрудника,

C_n – инвестиции в программы удержания.

Исследования показывают, что после достижения определенного уровня дохода нефинансовые факторы начинают преобладать в структуре мотивации ключевых специалистов [2]. К ним относятся:

1. Развитие и карьера: Возможности профессионального роста и обучения.
2. Организационная культура: Атмосфера доверия и психологической безопасности.
3. Гибкость: Возможность удаленной работы и гибкого графика.
4. Признание: Система регулярной обратной связи и публичного поощрения.

Результаты опроса, проведенного среди IT-специалистов ($n=150$), о значимости нефинансовых факторов представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Ранжирование нефинансовых факторов удержания

Фактор	Средняя оценка значимости (по 5-балльной шкале)
Возможности профессионального роста	4.8
Гибкий график / удаленная работа	4.6
Психологический климат в коллективе	4.5
Признание со стороны руководства	4.3
Корпоративная социальная ответственность	3.9

Для оценки эффективности модели предлагается использовать интегральный индекс удержания (Иуд), рассчитываемый на основе регулярных опросов и анализа данных о текучести ключевых сотрудников. Формула для его расчета имеет следующий вид:

$$I_{уд} = K_1 * W_1 + K_2 * W_2$$

где: **K₁** — коэффициент лояльности (рассчитывается по результатам анонимных опросов вовлеченности, шкала от 0 до 1),

K₂ — коэффициент стабильности (рассчитывается как 1-(текучесть ключевых сотрудников/общая текучесть) за отчетный период,

W₁, W₂ — весовые коэффициенты, определяемые экспертным путем (**W₁ + W₂ = 1**). Например, для проектно-ориентированных компаний **W₁** может быть выше, а для производственных — **W₂**.

Таким образом, внедрение комплексной модели удержания, сочетающей экономические и нефинансовые инструменты, позволяет значительно повысить лояльность ключевых специалистов. Предложенная модель DER и методика расчета индекса удержания предоставляют практический инструментарий для кадровых служб и руководства компаний, способствуя снижению рисков и сохранению человеческого капитала.

Литература:

1. Алексеев И. С. Современные методы удержания персонала [Электронный ресурс] // Kaus Group. — 2023. — URL: <https://spb.kaus-group.ru/knowledge/300-articles/category/managment/material/549/> (дата обращения: 24.11.2025).
2. Беляцкий Н. П. Управление персоналом: учебник. — Мн.: Интерпрессервис, 2022. — 512 с.
3. Крайнова Л. М., Макарова И. К. Привлечение, удержание и развитие персонала компании. — М.: Дашков и К°, 2023. — 218 с.
4. Петров А. К. Удержание ценных сотрудников [Электронный ресурс] // Skillcup. — 2024. — URL: <https://www.skillcup.ru/blog/uderzhanie-czennykh-sotrudnikov> (дата обращения: 29.11.2025).
5. Сидорова Е. В. Как удержать ценные кадры в 2025 году: стратегии, которые действительно работают [Электронный ресурс] // Корпоративные системы. — 2024. — URL: <https://journal.ksk.expert/articles/kak-uderzhat-tsennye-kadry-v-2025-godu-strategii-kotorye-deystvitelno-rabotayut-2507/> (дата обращения: 25.11.2025).

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ВЫЗОВЫ

В. Е. Плеханова

Югорский государственный университет,

г.Ханты-Мансийск, sapfir-04@bk.ru

**Научный руководитель: Троянова Е. Н., доцент Высшей школы
цифровой экономики, к.э.н., доцент**

В статье рассмотрены актуальные проблемы и перспективы перехода на электротранспорт в контексте глобальных климатических изменений. Проанализированы ключевые преимущества электромобилей, а также вызовы, сдерживающие их массовое распространение. Особое внимание уделено тому, что экологический эффект от электромобилей напрямую зависит от способа генерации электроэнергии, в связи с чем рассматриваются плюсы и минусы различных источников. На примере России показаны меры государственной поддержки электротранспорта и приведены статистические данные по парку и развитию зарядной сети.

The article discusses current issues and prospects for the transition to electric transport in the context of global climate change. It analyzes the key advantages of electric vehicles, as well as the challenges that hinder their widespread adoption. Special attention is given to the fact that the environmental impact of electric vehicles directly depends on the method of electricity generation, and the article examines the pros and cons of various sources, including coal, nuclear power plants, and renewable energy sources. The article uses Russia as an example to showcase government support measures for electric transport and provides statistical data on the fleet and charging network development.

В настоящее время в условиях климатических изменений всё более актуальной становится проблема перехода на альтернативные источники энергии. С ростом численности населения увеличивается и автомобильный парк. Транспорт, использующий двигатели внутреннего сгорания на бензине или дизельном топливе, является одним из основных источников как локального загрязнения воздуха, так и глобальных выбросов вредных веществ, таких как углекислый газ, оксиды азота и твердые частицы. Переориентация на низкоуглеродные и возобновляемые энергетические технологии способствует не только сокращению выбросов, но и снижению зависимости от нефти. Кроме того, многие государства объективно лишены собственных нефтяных запасов, что делает диверсификацию энергетического баланса важным элементом повышения их энергетической безопасности. Помимо прямых экологических выгод, широкое внедрение электротранспорта может способствовать снижению городского шума, улучшению качества воздуха и, как следствие, уменьшению нагрузки на здравоохранение [1].

Основные преимущества электромобилей представлены на рисунке 1:

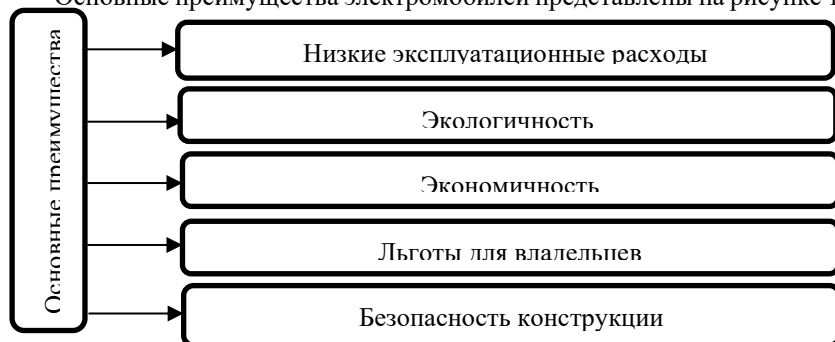


Рис. 1 – Основные преимущества электромобилей

Однако вместе с перечисленными преимуществами следует учитывать существующие проблемы, которые могут ограничить массовое использование электромобилей.

Прежде всего это нехватка зарядной инфраструктуры, особенно в сельской местности и на междугородних трассах. Заправить автомобиль бензином можно за несколько минут, тогда как зарядка электромобиля часто занимает от 30 минут до нескольких часов. Даже использование быстрых зарядных устройств решают проблему отчасти, так как увеличивается нагрузка на батарею и сокращается её срок службы.

Помимо проблем с доступностью и временем зарядки, у многих бюджетных моделей электромобилей запас хода остаётся ограниченным – обычно в пределах 300–400 км, что уступает пробегу большинства бензиновых автомобилей.

Кроме инфраструктурных ограничений, электромобили нельзя считать полностью «чистыми» с точки зрения ресурсного цикла. Они требуют значительных объёмов сырья: лития, кобальта, марганца и редкоземельных элементов (включая неодим для электродвигателей). Разработка месторождений и переработка этих металлов могут приводить к токсическому загрязнению почв, воды и воздуха в уязвимых регионах, если не применяются строгие экологические стандарты и современные технологии реабилитации [2].

Переработка литий-ионных аккумуляторов технически сложна и капиталоемка. Существующие технологии утилизации совершенствуются, но требуют значительных инвестиций и пока не устраняют полностью ни экологические, ни экономические проблемы, связанные с сырьевой цепочкой.

При этом источники электроэнергии, необходимой для машин, также обладают своими недостатками. По данным исследований, около 38 % мирового производства электроэнергии приходится на сжигание угля. Добыча угля и его переработка сопровождаются возникновением значительных экологических проблем. Для разработки угольных месторождений вырубают большие площади лесов, кроме того, в процессе добычи выделяются метан и углекислый газ, которые отравляют окружающую среду.

На электростанциях уголь сжигают – в результате этого процесса в атмосферу попадают диоксид серы и оксиды азота, провоцирующие кислотные дожди. Выбросы угольных электростанций также включают летучую золу, мышьяк, ртуть и даже радиоактивный торий с ураном. До тех пор, пока электричество для электромобилей поступает от угольных электростанций, электрокары будут лишь увеличивать отравление природы – за счёт стимуляции углесжигания.

Атомные станции создают отработавшее ядерное топливо, которое способно отравлять экологию и убивать всё живое на протяжении десятков тысяч лет после использования при неправильной утилизации. Согласно большому исследованию Greenpeace, существующие способы захоронения таких отходов не гарантируют надёжную изоляцию и имеют утечки.

Ветряные электростанции создают орнитологические проблемы, поскольку убивают сотни тысяч птиц ежегодно. [3].

Однако не смотря на выше заявленные проблемы, в России имеется широкий потенциал для перехода на данный вид транспорта. В некоторых регионах страны владельцы электромобилей освобождены от уплаты транспортного налога. Еще одной важной мерой является возможность бесплатного проезда по платным дорогам, что делает использование электромобилей более привлекательным для граждан.

На начало 2025 года парк электромобилей в России, включая гибридные модели, превышал 90 тысяч единиц. Это свидетельствует о растущем интересе к данным автомобилям. Правительство нашей страны ставит перед собой цель: к 2030 году установить 30 тысяч быстрых зарядных станций по всей стране. Это должно помочь сократить разрыв между Россией и мировыми лидерами в этой области. Например, в Китае соотношение числа электромобилей к количеству зарядных станций составляет примерно 3:1, тогда как в России это соотношение значительно хуже – около 7,2 :1.

По состоянию на июнь 2024 года в России насчитывалось 7 410 публичных зарядных станций: 2 555 – быстрых (DC) и 4 855 – медленных (AC). Большинство таких точек сосредоточено в крупных городах, таких

как Москва и Санкт-Петербург, а также в Краснодарском крае и Татарстане, в котором установлено 294 зарядных станции, что выводит данный регион в пятёрку лидеров по количеству ЭЗС в стране.

Тем не менее, несмотря на положительные тенденции, дефицит инфраструктуры остается значительной проблемой, особенно на междугородних маршрутах. На сегодняшний день зарядная сеть вдоль трасс формируется лишь в рамках отдельных крупных проектов. Одним из таких проектов является «Новый Шёлковый путь», инициированный компанией «Русгидро», который обеспечивает маршруты между Владивостоком и Москвой. Это важный шаг к созданию полноценной сети зарядных станций, однако для достижения более широкого охвата необходимо продолжать инвестировать в развитие инфраструктуры и расширение сети зарядных станций по всей стране [5].

Особенностью для применения в России электромобилей является наличие регионов с суровым климатом и большими перепадами температур. Северная часть страны занимает около 11,9 млн кв. км, что составляет примерно 70% территории РФ. К ним также относится и Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, который в 2024 году начал программу по расширению сети зарядных станций, предусматривающую субсидирование установки как минимум трёх «быстрых» зарядок. В регионе действуют четыре станции – две в Сургуте и по одной в Ханты-Мансийске и Нефтеюганске. Так как электромобили в таких условиях демонстрируют снижение пробега и замедленную зарядку при низких температурах из-за ухудшения работы литий-ионных батарей, поэтому для широкого внедрения на севере возможны два пути. С одной стороны, текущее глобальное потепление может сделать эксплуатацию электромобилей более перспективной в этих регионах, с другой – даже при общем потеплении остаются периодические сильные морозы, потому целесообразно разрабатывать и внедрять специально адаптированные модели, системы управления и обогрева батарей, а также развивать зарядную инфраструктуру.

В заключении можно сделать следующий вывод, что увеличение количества различных видов электротранспорта будет способствовать существенному сокращению вредных для экологии выбросов и улучшить качество окружающей среды. Для достижения этой цели необходимо решить ряд задач:

- масштабно и равномерно развить зарядную инфраструктуру, чтобы станции были доступны в разных регионах;
- технически совершенствовать аккумуляторы – увеличить плотность энергии, сократить время зарядки и внедрить эффективные технологии их переработки;

- минимизировать экологические риски добычи лития, кобальта и других материалов за счёт более устойчивых методов добычи и цепочек поставок.

В современных экономических условиях экономически развитые страны вводят субсидии затрат для владельцев электромобилей, чтобы обеспечить дальнейшее развитие этой отрасли. Эти финансовые инструменты стимулируют увеличению спроса, увеличение производства различных видов электротранспорта и помогают ускорить переход к более экологичным и устойчивым формам передвижения.

Литература:

1. Смирнов А. О. Электромобили: преимущества и недостатки / А. О. Смирнов, П. А. Красавин, Д. Т. Н. Даниел Трайчо Николов // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции В 3 ч., Чита, 25–29 ноября 2024 года. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2024. – С. 113-118. – EDN WIWCBW.

2. Ямзин К. Е. Климатическая политика России как стимулирующий фактор применения экологичных технологий в энергетической отрасли / К. Е. Ямзин, Е. Н. Троянова // Наука. Технологии. Инновации: XVII Всероссийская научная конференция молодых ученых: Сборник научных трудов в 11-ти частях, Новосибирск, 04–08 декабря 2023 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2024. – С. 181-185. – EDN ATFPSV.

3. Ахмедова Э. Р. О проблеме влияния электромобилей на экологию: преимущества и недостатки / Э. Р. Ахмедова, Г. И. Репин // Тинчуринские чтения - 2024 «Энергетика и цифровая трансформация»: Международная молодежная научная конференция. В четырех томах, Казань, 24–26 апреля 2024 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 271-274. – EDN EMIKHU.

4. Погорельский А. Объективные причины, почему электромобили не захватят мир / Погорельский Антон. [Электронный ресурс] // auto.ru: [сайт]. — URL: https://auto.ru/mag/article/whynotonlyelectro/?ysclid=mi2pyec0ch544670128&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 24.11.2025).

5. Рынок зарядных станций для электромобилей в России: перспективы, тренды и варианты развития. [Электронный ресурс] // dzen.ru: [сайт]. — URL: <https://dzen.ru/a/aFCBA8UGB1QTnEoF?ysclid=mi2q4w0i32144331473> (дата обращения: 25.11.2025).

ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РЫНКА СЕРТИФИКАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНКУРЕНТНУЮ ПОЗИЦИЮ ЦЕНТРА ПО СЕРТИФИКАЦИИ.

Д. А. Полежаев, Г. А. Семакина

Новосибирский государственный университет,

г. Новосибирск, denis.polejaev2004@gmail.com

Научный руководитель: Семакина Г. А., к.т.н., доцент

Статья посвящена анализу проблем внешней среды сферы сертификационных услуг. В ней описывается актуальность, проблематика, тенденции развития и актуальные изменения. В качестве рекомендаций были предложены меры, которые можно внедрить в работу современных центров по сертификации.

The article is devoted to analyzing problems in the external environment of the certification services sector. It describes the relevance, issues, development trends, and current changes. Recommendations were made in the form of measures that can be implemented in the work of modern certification centers.

Актуальность исследования обусловлена возрастающей сложностью законодательства в сфере технического регулирования, постоянным обновлением перечней продукции, подлежащей обязательной оценке соответствия, а также регулярными изменениями в нормативных документах (ГОСТ, технические регламенты Таможенного союза). В данных условиях заявители, сертификационные органы и испытательные лаборатории вынуждены оперативно адаптироваться к новым требованиям. Дополнительным фактором является проведение частых проверок со стороны Росаккредитации и Роскачества в отношении испытательных лабораторий и органов по сертификации.

Основная цель центров по сертификации — оказание компетентной консультационной помощи, сбор информации о товаре и сопровождение в оформлении разрешительной документации. Для достижения этих целей в работе центра выделяются следующие ключевые задачи:

Корректная классификация продукции: определение соответствующего технического регламента и схемы сертификации/декларирования.

Подбор кодов ТН ВЭД и ОКПД-2.

Сбор необходимой информации о товаре (наименование, состав, фото, техническое описание, технические документы).

Помощь в формировании заявки на проведение сертификации в орган.

Сопровождение процесса оформления: согласование макетов, отправка образцов, заполнение заявок и опросных листов. ^[1]

Проблематика сферы сертификации.

На российском рынке сертификации работает несколько категорий субъектов (Органы, лаборатории, центры). Разница органов и центров состоит в том, что: Сертификационные органы занимаются непосредственно регистрацией и выпуском разрешительных документов, испытательные лаборатории специализируются на проведении испытаний на определённый вид продукции (в зависимости от области аккредитации), а центры по сертификации оказывают комплексные консультационные услуги по всему процессу.

Одной из ключевых проблем является нестабильность законодательной базы РФ и Таможенного союза. Особенно значимы изменения в области ГОСТов: при введении новых стандартов необходимо проводить испытания по обновлённым методикам. При этом документы, выданные до изменения ГОСТа, сохраняют юридическую силу, однако торговые сети нередко требуют оформление по новой нормативной базе, что заставляет заявителей оформлять документы повторно.

Дополнительное давление на участников рынка оказывает регуляторная деятельность Роскачества и Росаккредитации. Наиболее яркий пример — инициированная проверка в отношении холдингов «Транс-Консалтинг» и «Сертификейшн групп». Организации выпускали значительное количество документов в короткие сроки, занимая лидирующие позиции по объёму выданных сертификатов. В ходе проверки были выявлены многочисленные нарушения, аттестаты об аккредитации были аннулированы, и большое количество клиентов оказалось с неликвидной документацией. Подобные проверки продолжаются, что приводит к сокращению числа действующих лабораторий и органов по сертификации, а также к росту стоимости услуг. В качестве объекта исследования был выбран Центр сертификации «ДСКА-Лаб», функционирующий на российском рынке разрешительной документации.

Вследствие вышеизложенного значительно вырос спрос на оформление документов через органы сертификации других стран таможенного союза, что приводит к падению объема выданных документов от органов РФ. Однако, Министр экономического развития РФ М. Решетников подчеркнул, что качество части из них вызывает сомнения. В связи с этим было предложено разработать механизм приостановки действия сертификатов, выданных с нарушениями в странах ЕАЭС. В июле 2025 г. Президент РФ поручил завершить

разработку такого механизма к концу года. С 30 ноября вступает в силу закон о полном межгосударственном сотрудничестве в этой сфере, контролирующей корректность оформления документации, соответствие кодов, наименований, количества проведённых испытаний, наличие актов отбора образцов и ГТД (ДТ-064).

Проанализировав все вышеперечисленные проблемы в сфере, можно прийти к выводу о том, что деятельность центров по сертификации актуальна в силу того, что заявителям с каждым годом становится все сложнее самостоятельно разобраться в процессе и корректно оформить всю необходимую документацию, также наблюдается дефицит квалифицированных специалистов. Область отличается высокой сложностью и регулярным обновлением нормативной базы, что требует от сотрудников высокого уровня компетентности. Это напрямую влияет на качество оказываемых услуг, следовательно, к ошибкам при оформлении документов, задержкам и финансовым потерям для заявителей. [2-3]

Для более подробного анализа и формулирования комплекса рекомендаций, был выбран Центр сертификации «ДСКА-Лаб», функционирующий на российском рынке разрешительной документации. Компания функционирует как экспертно-консультационный центр и оператор, организующий весь процесс получения разрешительной документации для производителей, импортеров и продавцов товаров. Деятельность центра направлена на обеспечение легитимного ввода продукции в обращение на рынках стран-членов ЕАЭС. Проведем SWOT анализ:

Таблица 1 – SWOT-анализ «ДСКА ЛАБ»

Сильные стороны:	Слабые стороны:
1.Наличие компетентных специалистов, способных проводить грамотные консультации и сопровождать клиента на всех этапах оформления документов.	1.Ограниченное количество квалифицированных кадров, высокая зависимость от отдельных специалистов.
2.Проведение аудита технической документации и проверки корректности протоколов испытаний — редкая услуга на рынке, формирующая конкурентное преимущество.	2.Необходимость постоянного обновления нормативной базы и обучения сотрудников, что требует финансовых и временных ресурсов.
	3.Отсутствие масштабной рекламной кампании и узнаваемости бренда на федеральном уровне.

3.Индивидуальный подход к заявителю и оперативное реагирование на изменения нормативной базы. 4.Налаженные связи с аккредитованными сертификационными органами и испытательными лабораториями.	4.Зависимость от внешних партнеров (лабораторий и органов), что может повлиять на сроки и стоимость работ. 5.Возможные задержки при оформлении документов в случае изменения законодательства.
Возможности: 1. Рост спроса на качественные консультационные услуги из-за усложнения законодательства и увеличения количества проверок. 2.Возможность привлечения клиентов через аудит документации и «антикризисное» сопровождение при проверках. 3.Потенциал для расширения услуг: обучение персонала предприятий, разработка технической документации «под ключ», создание цифровой базы нормативов.	Угрозы: 1.Усиление контроля со стороны Росаккредитации и Роскачества, возможное ужесточение требований к участникам рынка. 2.Резкое повышение стоимости испытаний и оформления документов в связи с уменьшением числа лабораторий

Исходя из проведенного свот анализа, можно сделать вывод, что основное конкурентное преимущество «ДСКА-Лаб» заключается в том, что центр проводит аудит предприятий на предмет наличия технической документации и корректности оформления разрешительной документации, а также проверку протоколов испытаний на легитимность и соответствие требованиям. Это позволяет существенно снизить риски получения штрафов и санкций при проверках, а также минимизировать вероятность давления со стороны конкурентов через сферу технического регулирования. ^[4]

Учитывая слабые стороны, можно выработать комплекс рекомендаций для данного центра:

- 1.Наличие квалифицированного персонала.
- 2.Постоянная актуализация базы нормативных документов.

3.Надёжные партнёрские связи с аккредитованными сертификационными органами и испытательными лабораториями.

Литература:

1.Стандарты [Электронный ресурс] // GOST.RU. — URL: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/standarts/technicalregulationses> (дата обращения: 18.11.2025).

2.О новом законе по сотрудничеству в области сертификации [Электронный ресурс] // Официальный портал нормативных актов России. — 2025. — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202511010026?index=1> (дата обращения: 18.11.2025).

3.Сократилось число выданных сертификатов [Электронный ресурс] // Ведомости. — 06.08.2025. — URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2025/08/06/1129773-sokratilos-chislo-vidannih-sertifikatov> (дата обращения: 19.11.2025).

4.DSKA-Лаб — сертификация и услуги [Электронный ресурс] // DSCA-Lab. — URL: <https://dska-lab.ru/sertificated> (дата обращения: 19.11.2025).

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

Ю. А. Поляченко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, polyachenko.yu@gmail.ru**

Научный руководитель: Крылова Е.В., к.э.н., доцент

В современных условиях усиления рыночной конкуренции и роста требований со стороны клиентов к стабильности и оперативности обслуживания, электротехнические компании вынуждены пересматривать подходы к построению своих логистических цепочек. Одним из ключевых факторов, становится поддержание оптимального запаса оборудования. В статье рассматриваются основные методы определения требуемых резервов для обеспечения бесперебойности поставок и непредвиденных замен оборудования.

In modern conditions of increasing market competition and increasing customer demands for stability and prompt service, electrical engineering companies are forced to reconsider their approaches to building their logistics chains. One of the key factors is to maintain an optimal supply of equipment. The article discusses the main methods for determining the required reserves to ensure uninterrupted supply and unexpected equipment replacements.

В настоящее время производство энергетического оборудования в нашей стране сталкивается со множеством вызовов и необходимостью развиваться в условиях постоянных изменений внешней среды. Уход с российского рынка западных производителей энергетического оборудования требует локализации производства и развития импортозамещения. Также стоит учитывать то, что около 40% стоимости конечного продукта формируется за счет логистических затрат [1]. Данные факторы определяют актуальность исследования оптимизации логистической системы электротехнического предприятия с целью повышения эффективности его деятельности в условиях изменяющейся внешней среды.

В производстве электротехнического оборудования доля затрат на материалы в себестоимости продукции высока. Вследствие этого большие издержки, связанные с хранением запасов. Отсутствие запасов также может привести к расходам, выраженным в отсутствии товара на складе в момент предъявления спроса, при закупке мелких партий товаров по более высоким ценам или в форме потерь от простоя производства.

Для обеспечения бесперебойности производственного процесса предприятию необходимо поддерживать оптимальное количество материалов и комплектующих в резерве. Также необходимо периодическое пополнение запаса с учетом определенных систем контроля его уровня. При управлении запасами на предприятии можно выделить две основные задачи:

- определение нормы запаса, то есть необходимых объемов;
- создание системы контроля фактического размера запаса и его пополнением в установленные сроки [2].

В основных методах определения нормы запаса можно выделить три группы.

К первой группе наиболее простых методов определения размера запаса относят метод экстраполяции, который строит прогноз на основе статистических данных, и эвристические методы, предполагающие использование опыта специалистов. В данную группу входят опытно-статистический метод, метод экспертных оценок, широко при управлении запасами применяются ABC – анализ и распределение XYZ, позволяющие классифицировать ассортиментные единицы по их стоимости и ранжировать в зависимости от спроса [3]. Несмотря на то, что данные методы позволяют предприятию выстраивать политику по отношению к формированию и управлению товарных запасов, их сложно использовать в условиях высокой неопределенности и с товарами, спрос на которые тяжело спрогнозировать.

Вторая группа – методы технико-экономических расчетов, которые объединяют технические параметры оборудования, экономические критерии и нормативные требования для оптимизации деятельности конкретного предприятия. Запасы в зависимости от номенклатуры или целевого назначения делят на отдельные группы, для которых отдельно рассчитываются страховой, текущий и сезонный запасы.

Одним из наиболее известных методов технико-экономических расчетов является модель Уилсона (EOQ – Economic Order Quantity) [4]. Данная модель используется в логистической системе для оптимизации и управления запасами. Модель может быть применена для определения запасов, объема материалов и сырья на единицу времени и оптимального размера поставок. Расчет проводится по формуле (1):

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot F}{C \cdot P}} \quad (1)$$

где S – годовой объем продаж (потребность в единицах изделия); P – стоимость приобретения единицы изделия; C – годовые затраты по хранению запасов в процентах от цены их изделия; F – постоянные расходы по размещению заказа; Q – заказываемое количество материалов.

В качестве примера рассмотрим расчет необходимого количества основных комплектующих – модулей управления (МУ), используемых в производстве реклоузеров:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot F}{C \cdot P}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \cdot 80\,000}{10\% \cdot 60\,000}} \approx 74 \text{ шт.}$$

До применения данной формулы на складе хранилось 100 штук МУ, после проведения расчета выяснилось, что необходимое количество МУ составляет 74 штуки, что уменьшает затраты на хранение на 156 000 рублей.

Основными недостатками данного метода являются: применение формулы только на один товар, а также постоянные измерения его количества. Данную модель возможно заменить другими, основанными на теории надежности или на многоэшелонная оптимизации.

Модель управления рисками. Данная модель строится на основе логистических рисков, возникающих на всех этапах перевозок и хранения грузов [5]. Основная задача модели рассчитать и оценить влияние рисков на предприятие, основываясь на анализе вероятностей, экспертных оценок и обработки статистических данных.

Также существует модель Многоэшелонной оптимизации запасов (Multi-Echelon Inventory Optimization, МЕИО), данная модель управления запасами оптимизирует уровни запасов на нескольких этапах поставок [6]. Главное преимущество модели заключается в многоуровневом рассмотрении логистических процессов (происходит оценка взаимозависимости этапов цепочки поставок и определяет необходимые уровни запасов на каждом этапе). Модель распределяет запасы в зависимости от загруженности и потребления узлов, учитывает факторы волатильности (нарушений в производстве как внутреннем, так и внешнем, а также сбоев поставок), и динамически корректирует уровни запасов так как модель работает на основе баз данных, включающих данные в реальном времени.

Особенностью и одним из преимуществ технико-экономических методов, является то, что расчетные формулы основываются на реальных и актуальных для производства данных.

Экономико-математические методы основываются на том, что спрос на товары или продукцию можно представить как случайный процесс, который описывается методами математической статистики.

Одним из экономико-математических методов является расчет надежности производства, соответствующей математическому ожиданию доли готовой продукции, произведенной без задержек, и расчет страхового резерва (запаса) для материалов, используемых при производстве одного продукта. Расчетный уровень страхового резерва (SS) вычисляется по формуле (2):

$$SS = S_{LT} \cdot z_0 \cdot k = \sqrt{S_D \cdot LT} \cdot z_0 \cdot k \quad (2)$$

где S_D – стандартное отклонение потребности в материале от прогноза за 1 день; LT – временной период, в днях; z_0 – обращение функции распределения отклонения прогноза от фактических продаж для вычисления квантилей A ; k – вектор рецептурных коэффициентов [1].

Выполним расчет страхового запаса модулей управления. Принимаем значение $z_0 = 1,65$, соответствующее тому, что в 95% случаев отклонение фактической потребности от прогнозной будет равно 1 штучке ($S_D = 1$):

$$SS = \sqrt{S_D \cdot LT} \cdot z_0 \cdot k = \sqrt{1 \cdot 31} \cdot 1,65 \cdot 1 \approx 10$$

Страховой запас составляет 10 модулей управления в месяц с учетом того, что период поставки принимаем 31 день.

К экономико-математическим методам можно отнести также проведение сценарного анализа методом Монте-Карло, в котором формируется множество сценариев для оценки рисков.

Принцип работы метода Монте-Карло заключается во множественном расчете с использованием различных наборов случайных значений (в модели любой неопределенный фактор заменяется диапазоном значений, т.е. распределением вероятностей). Количество перерасчетов зависит от количества неопределенностей и установленных для них диапазонов, что позволяет учитывать множество индивидуальных факторов [7].

Игнорирование резерва в пользу краткосрочной экономии ведёт к более крупным потерям: простои, штрафы, репутационный ущерб. Оптимизация логистики строится на основе анализа рисков, географии и критичности компонентов. В условиях высоких требований к надёжности – резерв становится ключевым конкурентным преимуществом и стратегической необходимостью.

Литература:

1. Архипов К. В. Статистические модели формирования страховых резервов производственного предприятия [Электронный ресурс] // Статистика и экономика. – №4. – 2012. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statisticheskie-modeli-formirovaniya-strahovyh-rezervov-proizvodstvennogo-predpriyatiya> (дата обращения: 23.11.2025).

2. Мельников В. П. Логистика: учебник для вузов / В. П. Мельников, А. Г. Схиртладзе, А. К. Антонюк; под общей редакцией В. П. Мельникова. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 238 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-21666-0. – [Электронный ресурс] // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/581891> (дата обращения: 24.11.2025).

3. Ариничева И. В., Фошан Г. И., Куркаев М. А. ABC/XYZ-анализ в складской логистике // ЕГИ. – 2025. – №2 (58). [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/abc-xyz-analiz-v-skladskoy-logistike> (дата обращения: 29.11.2025).

4. Матафонова А. А. Управление запасами: модель Уилсона [Электронный ресурс] // Инновационная наука. – 2017. – №5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-zapasami-model-uilsona> (дата обращения: 30.11.2025).

5. Пономарева Е. С. Разработка эффективных методов управления рисками в логистике на предприятии [Электронный ресурс] // Молодой исследователь Дона. – 2024. – №4. – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-effektivnyh-metodov-upravleniya-riskami-v-logistike-na-predpriyatii> (дата обращения: 26.11.2025).

6. Многоуровневая оптимизация запасов [Электронный ресурс] // GitHub.com: [сайт]. – 2019. – URL: <https://github.com/anshul-musing/multi-echelon-inventory-optimization/blob/master/README.md> (дата обращения: 21.11.2025).

7. Гаврилова А. С. Метод Монте-Карло в моделировании [Электронный ресурс] // Форум молодых ученых. – 2019. – №1-1 (29). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-monte-karlo-v-modelirovanii> (дата обращения: 25.11.2025).

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОДБОРА ПЕРСОНАЛА: ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ВЫЗОВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Д. А. Преображенская

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Юдина Л. Н., к.э.н., доцент

В статье исследуется трансформация рекрутинговых процессов под влиянием цифровых технологий. Проанализированы ключевые тенденции, включая использование искусственного интеллекта, BigData и автоматизированных HR-систем. Выявлены преимущества и риски цифровизации подбора персонала, предложены рекомендации по оптимизации рекрутинговой деятельности.

The article explores the transformation of recruitment processes under the influence of digital technologies. Key trends, including the use of artificial intelligence, Big Data, and automated HR systems, are analyzed. The advantages and risks of digitalization of recruitment are identified, and recommendations for optimizing recruitment activities are proposed.

Цифровая трансформация кардинально изменила подходы к управлению персоналом, создав новые возможности и вызовы для организаций. Согласно исследованию, более 67% российских компаний уже внедрили цифровые инструменты в рекрутинговые процессы [1]. Актуальность темы обусловлена необходимостью системного анализа эффективности современных методов подбора в условиях быстро меняющейся цифровой среды.

Традиционные методы рекрутинга, основанные на размещении вакансий в СМИ и работе с кадровыми агентствами, активно

вытесняются комплексными цифровыми решениями. Современный рекрутинг характеризуется интеграцией множественных каналов привлечения кандидатов, автоматизацией рутинных операций и внедрением аналитических инструментов для прогнозирования успешности кандидатов [2]. Цифровизация позволяет сократить время закрытия вакансий на 30-40% по сравнению с традиционными методами, что особенно важно в условиях высокой конкуренции на рынке труда.

Искусственный интеллект революционизирует процессы первичного отбора, предлагая беспрецедентные возможности для оптимизации рекрутинга. Современные AI-системы способны анализировать сотни параметров резюме за считанные секунды, прогнозировать профессиональную успешность с точностью до 78% и выявлять когнитивные искажения в решениях рекрутеров. Это позволяет не только ускорить процесс подбора, но и значительно повысить его объективность [3].

Использование технологий BigData и HR-аналитики открывает новые горизонты в управлении талантами. Компании, внедрившие продвинутую аналитику, демонстрируют впечатляющие результаты: снижение текучести персонала на 25-35%, увеличение точности прогноза успешности кандидатов на 45% и оптимизацию рекрутингового бюджета на 15-20%. Аналитика больших данных позволяет выявлять скрытые закономерности в поведении сотрудников и строить точные прогнозы их профессионального развития [4].

Однако цифровая трансформация рекрутинга сопровождается серьезными вызовами. Этические риски проявляются в возможной алгоритмической дискриминации кандидатов, непрозрачности критериев отбора AI-систем и проблемах конфиденциальности персональных данных. Организационные барьеры включают высокую стоимость внедрения цифровых решений, неготовность HR-специалистов к работе с новыми технологиями и естественное сопротивление персонала изменениям [5].

Проведенное исследование, основанное на анализе рекрутинговой деятельности 120 российских компаний, выявило значительную вариативность эффективности цифровых методов в зависимости от отрасли и размера организации. Наиболее впечатляющие результаты демонстрируют компании, использующие комплексные системы, сочетающие AI-решения с аналитическими модулями. Такие организации достигают сокращения времени закрытия вакансий до 14 дней при уровне удержания персонала 85% в течение первого года работы.

Особый интерес представляет анализ эффективности различных каналов привлечения кандидатов. Социальные профессиональные сети демонстрируют наибольшую эффективность для IT-специалистов (67% успешных наймов), тогда как для производственного персонала более эффективны специализированные платформы (58%). Это подтверждает необходимость дифференцированного подхода к выбору рекрутинговых инструментов в зависимости от целевой аудитории.

На основе проведенного исследования можно сформулировать практические рекомендации по оптимизации рекрутинговых процессов. Наиболее эффективной стратегией является поэтапное внедрение цифровых решений, начинающееся с автоматизации наиболее трудоемких операций. Критически важным представляется разработка этических стандартов и создание прозрачных алгоритмов отбора. Интеграция аналитических модулей и систем прогнозной аналитики позволяет значительно повысить точность рекрутинговых решений. Не менее важным является обучение HR-специалистов и развитие их цифровых компетенций.

Цифровая трансформация рекрутинга создает беспрецедентные возможности для оптимизации процессов подбора персонала. Наиболее эффективной признана гибридная модель, сочетающая цифровые технологии с экспертной оценкой рекрутеров. Такой подход позволяет максимизировать преимущества технологических инноваций, сохраняя при этом человеческий фактор в принятии ключевых кадровых решений. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка адаптивных систем подбора, учитывающих отраслевую специфику и корпоративную культуру, а также углубленное изучение этических аспектов применения искусственного интеллекта в рекрутинге.

Литература:

1. Современные методы управления персоналом в условиях цифровизации [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – 2023. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-upravleniya-personalom-v-usloviyah-tsifrovizatsii/viewer> (дата обращения: 02.11.2025).
2. Тенденции применения цифровых технологий в рекрутинге [Электронный ресурс] // APNI.ru. – 2024. – URL: <https://apni.ru/article/6043-tendentsii-primeneniya-tsifrovikh-tekhnologij> (дата обращения: 02.11.2025).
3. Саенко И. И., Киракосян В. Г. Цифровая трансформация в HR-менеджменте: структура, вызовы и ключевые компетенции для будущего [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – 2023. – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-v-hr-menedzhmente-struktura-vyzovy-i-klyuchevye-kompetentsii-dlya-buduschego> (дата обращения: 02.11.2025).

4. Аналитика больших данных в управлении талантами [Электронный ресурс] // HR AnalyticsReview. – 2023. – URL: https://www.researchgate.net/publication/370073240_A_Study_HR_Analytics_Big_Data_in_Talent_Management (дата обращения: 02.11.2025).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Н. Д. Родионов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nikitarodionov05@mail.ru**

Научный руководитель: Варенник А. А. ст. пр.

Оценено влияние процессов цифровой трансформации на эффективность работы электросетей. Рассмотрены ключевые технологии (AI, цифровые двойники, автоматизация) и проект модернизации сетей в Выборгском районе Ленинградской области. Выявлены барьеры: высокие затраты, импортозависимость, нормативные ограничения. Сделан вывод о потенциале цифровых решений для повышения конкурентоспособности энергоотрасли.

The article assesses the impact of digital transformation on power grid efficiency. It examines key technologies (AI, digital twins, automation) and a grid modernization project in the Vyborg District. The main barriers are high costs, import dependence, and regulatory constraints. The conclusion highlights the potential of digital solutions for the industry's competitiveness.

Электроэнергетика, будучи основой экономики, требует внутренней трансформации для преодоления растущей сложности сетей, интеграции распределённой генерации и повышения требований к надёжности. Цифровизация становится ключевым инструментом повышения конкурентоспособности и устойчивости отрасли, требующим внедрения новейших технологий.

Актуальность данного исследования напрямую обусловлена стратегическими ориентирами, закреплёнными в Указе Президента Российской Федерации № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». В документе поставлены масштабные задачи, такие как «повышение эффективности и конкурентоспособности предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК)», «создание возможностей

для гармоничного развития цифровой среды» и «достижение углеродной нейтральности» [1].

Целью исследования в рамках данной статьи является оценка влияния процессов цифровой трансформации на эффективность работы электрических сетей.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в возможности применения его результатов при выработке стратегии дальнейшей цифровой трансформации электроэнергетики.

В рамках исследования рассмотрена классификация цифровых технологий в энергетике (рис. 1), охватывающая широкий спектр решений — от интеллектуального сбора данных до комплексного управления объектами с помощью цифровых двойников и систем на основе искусственного интеллекта.



Рис. 1 – Виды цифровых технологий, применяемых в энергетике

Для иллюстрации реального влияния цифровой трансформации на эффективность работы предприятий энергетического комплекса был сделан обзор успешных кейсов внедрения. В таблице 1 представлены конкретные примеры от ведущих компаний отрасли, которые демонстрируют ключевые технологии и достигнутые благодаря ним положительные эффекты.

**Таблица 1 – Примеры внедрения цифровых технологий
с эффектами**

Компания / Объект	Внедренные технологии	Ключевые эффекты и результаты
ПАО «Лукойл» (Южно- Хыльчуйское месторождение)	Гибридный энергокомплекс с AI-оптимизацией (СЭС, накопители, дизели)	• Снижение расхода дизельного топлива на 25-30% в год • Сокращение выбросов CO₂ на 1500-2000 тонн в год
ПАО «Газпром нефть» (Новопортовское месторождение)	Цифровые двойники и предиктивная аналитика ГТУ	• Снижение затрат на техобслуживание до 15% • Снижение вероятности внеплановых остановок на 40-50%
ПАО «Россети» (Москва и Подмосковье)	Система АРМ (автоматическое восстановление сети):	• Сокращение времени перерыва питания (SAIDI) на 30-40% • Время восстановления питания снижено с часов до 30-60 секунд
ПАО «РусГидро» (Южные регионы России)	AI- прогнозирование генерации ВИЭ:	• Точность прогноза выработки повышена с 75% до 88-92% • Экономия на балансировке энергосистемы - сотни млн. руб.

Рассмотренные примеры подтверждают эффективность цифровизации в энергетике. Однако наиболее критичны проблемы распределительных сетей, непосредственно связанных с потребителем. Для углубленного анализа выбран репрезентативный объект — электросети Выборгского района Ленинградской области, которые отражают ключевые отраслевые вызовы: старение инфраструктуры, рост нагрузки, высокую аварийность и недостаточную автоматизацию.

В состав рассматриваемого участка сети входят 3 подстанции и 5 фидеров общей протяженностью около 90 км, обслуживающих территорию 16 270 кв. км с населением 364 тыс. человек [5].

Основные проблемы:

- Высокая аварийность из-за природных условий (ветра до 22 м/с)
- Рост нагрузки и технологических присоединений
- Длительные перерывы электроснабжения

- Отсутствие резервирования на ПС Красносельская
- Низкие показатели надежности.

Для решения проблем рассмотрен проект модернизации с применением автокластерного метода, заключающегося в создании изолированных, самодостаточных участков сети. Ключевым элементом проекта является установка интеллектуальных коммутационных аппаратов (реклоузеров), которые формируют основу для будущего внедрения систем АСДУ и предиктивной аналитики, закладывая базу для создания цифрового двойника сети.

В таблице 2 приведена оценка эффектов от реализации данного проекта.

Таблица 2 – Оценка эффектов от проекта [12, 10]

Показатель	До модернизаци и	После модернизаци и	Эффек т	Цена эффект а	Годово й эффект, млн. руб.
SAIFI, откл/год	1,08	0,19	-0,89	-	-
SAIDI, ч/год	1,73	0,32	-1,41	-	-
Недоотпуск э/э, кВт·ч/год	8 377	2 422	-5 955	231,71 руб/ кВт·ч	1,379
Нагрузочные потери, кВт	139,5	101,1	-38,4	2062 руб/ МВт·ч	0, 302
Годовое время максимальных потерь, ч			380		
Новые подключения , кВт	-	+5,1%	346,6	4,9 руб/ кВт·ч	
ЧЧИ, ч			6000		
Итого годовой эффект					11,871

Таким образом, суммарный годовой эффект от реализации данного проекта по укрупненной оценке составит порядка 11,9 млн. руб.

Мероприятия включали:

- Установка 24 реклоузеров (РВА)
- Установка 23 сборок разъединителей однофазных (СРО)
- Демонтаж 42 линейных разъединителей
- Строительство новых ВЛ 10 кВ и 110 кВ

Стоимость модернизации составила 111,8 млн. руб. [5, 7].

Учитывая объем первоначальных вложений, простой срок окупаемости проекта составит 9,4 лет.

Анализ внедрения цифровых технологий в электросетевом комплексе выявил ключевые преимущества:

- Повышение надежности и качества электроэнергетики
- Сокращение времени перерывов питания
- Снижение коммерческих потерь и операционных расходов
- Возможность подключения новых потребителей

Следует выделить также барьеры:

- Высокие капитальные затраты и длительные сроки окупаемости
- Зависимость от импортных комплектующих и технологий
- Сложность интеграции с существующей инфраструктурой
- Необходимость переподготовки персонала
- Нормативно-правовые ограничения

Однако, несмотря на существующие барьеры, в том числе и значительные сроки окупаемости, цифровизация демонстрирует значительную экономическую и технологическую эффективность, что подтверждается расчетами по рассмотренному в рамках работы проекту.

Литература:

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 июля 2023 года № 1812-р «О цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/> (дата обращения: 06.10.2025).
2. Приказ Минэнерго России от 04.10.2022 N 1070 (ред. от 09.12.2024) «Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте России 06.12.2022 N 71384).
3. Отчет эмитента ПАО «МРСК» за первое полугодие 2024 года [Электронный ресурс]. – М., 2024. // FinanceMarker: аналитический портал. URL: https://cdn.financemarker.ru/reports/2024/MOEX/M/MRKS_2024_6_6M_M_CFO.pdf (дата обращения: 07.10.2025).
4. Официальный сайт ПАО «Россети» [Электронный ресурс] - URL: <https://www.rosseti.ru/> (дата обращения: 08.10.2025).
5. Выборгский филиал ПАО «Россети Ленэнерго»: структура и зона ответственности [Электронный ресурс] // Официальный сайт ПАО «Россети Ленэнерго». 2023.- URL: <https://rosseti-lenenergo.ru/about/filials/vyborg> (дата обращения: 08.10.2025).
6. АО «Выборгские электрические сети». Условия технологического присоединения [Электронный ресурс] // Официальный партнерский портал ВсеВЭнерго.- URL:

<https://vseenergo.ru/podklyuchenie-k-elektrichestvu/vyborgskie-elektricheskie-seti-2/index.htm> (дата обращения: 08.10.2025).

7. Руководство по эксплуатации TER_Rec15 Smart1_R7 [Электронный ресурс] // АО «ГК «Таврида Электрик»: сайт. - URL: <https://www.tavrida.ru/ter/support/documents/5/> (дата обращения: 08.10.2025).

8. Цифровой двойник энергосистемы [Электронный ресурс] // РЖД Digital. - URL: <https://rzddigital.ru/glossary/775/> (дата обращения: 08.10.2025).

9. Электроэнергетика: цифровые технологии в распределительных сетях [Электронный ресурс]: учебный курс // EnergyNet University. - URL: https://edu.energynet.university/edu/flow?flow_id=acaa28a9-8bc2-47a7-8153-93ae9e5aa2ca&course_id=13243756-61ff-44ac-b409-a11004724710 (дата обращения: 09.10.2025).

10. Мир за электричество: как цифровизация меняет энергетику [Электронный ресурс] // Oilcapital.ru. 2018. -URL: <https://oilcapital.ru/news/2018-11-30/mir-za-elektrichestvo-1039840> (дата обращения: 07.10.2025).

11. Искусственный интеллект сократил энергозатраты: выгода для бизнеса России [Электронный ресурс] // РБК. - URL: <https://companies.rbc.ru/news/YF8GjbsTgp/iskusstvennyij-intellekt-sokratil-energozatraty-vyiгода-dlya-biznesa-rossii/> (дата обращения: 07.10.2025).

12. Концепция цифровой трансформации электросетевого комплекса ПАО «Россети» [Электронный ресурс] // ПАО «Россети». – 2020. URL: <https://www.rosseti.ru/upload/iblock/6dd/p9g5uwgkmbuscowhesbwemig4te431wo.pdf> (дата обращения: 08.10.2025).

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ИНВЕСТИРОВАНИЯ В ОБЪЕКТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Т.А. Сычева

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, tatanasyceva502@gmail.com

Научный руководитель: Арестова А. Ю., ст. преп.

В статье рассмотрено влияние цифровизации на снижение инвестиционных рисков в распределенной энергетике. Определены ключевые цифровые технологии и их роль в повышении прозрачности и предсказуемости проектов. Показано, что внедрение цифровых решений способствует росту

инвестиционной привлекательности, надежности и экономической эффективности распределенной генерации.

The article examines the impact of digitalization on reducing investment risks in distributed energy. Key digital technologies are identified as tools for enhancing transparency and predictability. The study shows that digital solutions improve the investment appeal, reliability, and economic efficiency of distributed generation projects.

Современная глобальная энергетика претерпевает фундаментальные изменения, определяемые переходом к децентрализованным системам и активной цифровизацией. Этот процесс, известный как четвертый энергетический переход, движим не только экономическими факторами, но и необходимостью борьбы с изменением климата. Несмотря на стремительный рост доли возобновляемых источников и рекордные инвестиции в распределенную энергетику, дальнейшее развитие сталкивается с существенным препятствием — высокими инвестиционными рисками. Данная проблема особенно актуальна для развивающихся стран, которые, обладая значительным потенциалом, привлекают лишь малую долю необходимых финансовых потоков. В этой связи цифровизация все чаще рассматривается как критически важный инструмент минимизации рисков и повышения инвестиционной привлекательности проектов распределенной энергетики. Таким образом, исследование возможностей цифровых технологий (ЦТ) для преодоления инвестиционных барьеров представляется чрезвычайно актуальной задачей. Цель настоящей работы — систематизировать классификацию инвестиционных рисков проектов распределенной генерации (РГ), рассмотреть ключевые ЦТ и их функционал, представить матрицу влияния технологий на риски и сопоставить ключевые показатели проекта до и после цифровизации. Данное исследование делает акцент на комплексном, системном подходе: оно увязывает различные цифровые решения с конкретными типами рисков и финансовыми показателями, что отличает его от ряда статей, часто анализирующих технологии в отрыве от их непосредственного влияния на стоимость и риск капитала.

Классификацию инвестиционных рисков в проектах с РГ целесообразно группировать по четырем классам (рис.1).



Рис. 1 – Классификация инвестиционных рисков в проектах с РГ

Цифровая трансформация электроэнергетики создает принципиально новые возможности для распределенной энергетики, одновременно снижая ключевые инвестиционные риски. Технологии цифровизации повышают предсказуемость, управляемость и экономическую эффективность объектов РГ. Они позволяют трансформировать традиционные риски, связанные с изменчивостью ВИЭ, сложностью интеграции в энергосистему и низкой прогнозируемостью доходов. Внедрение цифровых платформ и решений обеспечивает необходимую прозрачность, автоматизацию и аналитику для уверенного инвестирования в распределенную энергетику. Таким образом, цифровизация становится критическим фактором, снижающим технологические, коммерческие и операционные риски. Представленная ниже таблица систематизирует ключевые ЦТ и их конкретный функционал в контексте минимизации инвестиционных рисков.

Таблица 1 – Ключевые ЦТ и их функционал в РГ

ЦТ	Функция	Влияние на риски инвестирования
Интернет энергии (IoT)	P2P-торговля энергией, агрегация распределенных ресурсов, балансировка генерации и потребления в реальном времени, снижение сетевых потерь, управление спросом [1]	Снижение рисков за счет децентрализации торговли энергией, сокращения транзакционных издержек и операционных затрат, а также повышения надежности и гибкости энергосистемы через P2P-модели и агрегацию нагрузки [1]
Интеллектуальные системы учета	Онлайн-мониторинг генерации и потребления, превентивный контроль оборудования, поддержка динамических тарифов и упрощенный учет для просьюмеров [1, 2]	Обеспечение точного и прозрачного учета для расчетов, оптимизации режимов работы оборудования и сокращения коммерческих потерь, реализация гибких тарифов для повышения рентабельности инвестиций [1, 2]
Технологии «умных сетей» (Smart Grid)	Автоматизация распределительных сетей для повышения надежности и эффективной интеграции ВИЭ и накопителей [2]	Снижает инвестиционные риски за счет повышения надежности электроснабжения, сокращения времени отключений, операционной эффективности, снижения потерь энергии и затрат на ремонт [2]
РГ и системы накопления энергии (СНЭ)	Сглаживание графика потребления и генерации, обеспечение качества электроэнергии, повышение надежности электроснабжения, участие на рынке системных услуг, экономия затрат на энергию и присоединение [1]	СНЭ обеспечивают резервное питание и требуемое качество электроэнергии, снижая риски простоев и ущерба от перерывов в снабжении. Сглаживание стохастического характера генерации возобновляемыми источниками делает выработку более прогнозируемой и пригодной для участия на рынке системных услуг. Снижение платы за технологическое присоединение [1], оптимизация потребления в часы пиковых цен и разгрузка сетевой инфраструктуры повышают рентабельность проектов
Цифровые двойники (Digital Twins)	Моделирование, оптимизация и прогнозирование работы РГ [3]	Повышение эффективности проектирования и эксплуатации за счет виртуальных испытаний и оптимизации до начала работы [3]

Предиктивная аналитика и ИИ	Прогнозирование производства и потребления энергии; оптимизация режимов работы; анализ поведения потребителей на основе больших данных [4]	Сокращение простоев, уменьшение затрат на ремонт и увеличение межремонтного интервала оборудования. Прогнозирование аварий и отказов оборудования до их возникновения минимизирует риски поставок и финансовые потери [4]
Микрогрид (Microgrids)	Управление спросом и генерацией [1], обеспечение надежности энергоснабжения, оптимизация энергозатрат	Снижение рисков за счет создания устойчивых локальных энергокластеров, оптимизации энергозатрат участников, повышения надежности электроснабжения через управление спросом и генерацией [1]
Роботизированная диагностика и БПЛА	Автоматический мониторинг оборудования, прогнозирование аварий и снижение затрат на техобслуживание [5]	Снижение операционных затрат и простоев, предотвращение аварий. Сбор детальной информации о состоянии объектов повышает обоснованность инвестиций в тех. обслуживание и развитие [5]

Представленные цифровые технологии создают основу для технологического развития распределенной энергетики. Однако для оценки инвестиционной привлекательности необходимо определить степень их влияния на снижение финансовых рисков. Следующая матрица демонстрирует, как каждая технология воздействует на конкретные категории рисков, обеспечивая измеримое улучшение экономических показателей проектов.

Таблица 2 – Матрица влияния ЦТ на инвестиционные риски

Тип риска	ЦТ	Механизм снижения риска
Технологические риски	Технологии «умных» сетей и счетчиков	Дистанционный мониторинг, прогнозирование аварий, интеллектуальное управление, предотвращение сбоев.
	Роботизированная диагностика и БПЛА	Дистанционный, комплексный контроль объектов; выявление дефектов; повышение безопасности осмотров
	Предиктивная аналитика и ИИ	Внедрение ИИ-решений: анализ топологии, прогноз загрузки, интеграция с отечественной SCADA-системой СК-11

	Цифровые двойники	Виртуальное моделирование и оптимизация «до» реальных инвестиций
Рыночно-экономические риски	РГ и СНЭ	Разгрузка центров питания и повышение надежности, повышение качества ээ
	Микросети	Конечные потребители и розничные генераторы связаны в низковольтную сеть
	Все технологии	Снижение CAPEX и OPEX

Цифровизация повышает прозрачность и предсказуемость проектов РГ, снижая технологические и коммерческие риски за счет мониторинга в реальном времени, автоматизации и улучшенной аналитики доходов. Введение цифровых платформ, умных счетчиков и цифровых двойников позволяет точнее прогнозировать выработку и спрос, оптимизировать операции и повысить устойчивость к ценовым колебаниям. Это приводит к снижению инвестиционных барьеров и улучшению кредитного профиля проектов РГ. Таким образом, цифровизация является ключевым фактором снижения рисков инвестирования в объекты распределенной энергетики.

Литература:

1. Кузьмин П. С. Активные потребители электроэнергии: обзор инновационных моделей взаимодействия субъектов электроэнергетики и конечных потребителей // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2021. – Т. 12. – №. 4. – С. 306-321.

2. Руди Д. Ю. Перспектива развития концепции SMART GRID в российской энергетике // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции». «Речной Форум 2022», Ч. 1 / сост. В. В. Калекин, С. И. Ультан. – Омск: ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ», 2022. – 420 с. – С. 124.

3. Гвоздяный С. Е., Мясков А. В. Российский и зарубежный опыт использования цифровых двойников в энергетике // Экономика промышленности/Russian Journal of Industrial Economics. – 2024. – Т. 17. – №. 4. – С. 378-387.

4. Самарский В., Евсина Е. Обзор решений на основе искусственного интеллекта в сфере SCADA-систем // Системная инженерия и инфокоммуникации. – 2025. – №. 2. – С. 32-35.

5. Беляев П. В., Головский А. П., Садаев Д. С. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов при контроле и диагностике объектов энергетики // Динамика систем, механизмов и машин. – 2019. – Т. 7. – №. 2. – С. 18-24.

РАБОТА НАД СОБСТВЕННЫМИ ПРОЕКТАМИ В МОДЕЛИ «20 % ВРЕМЕНИ» GOOGLE КАК МЕХАНИЗМ МОТИВАЦИИ И ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

О. И. Тетерина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, olga.teterina1239@gmail.com**

Научный руководитель: Юдина Л. Н., к.э.н. доцент

Модель, при которой сотрудники Google могут тратить около 20 % рабочего времени на собственные идеи и проекты, рассматривается как драйвер инноваций и мотиватор персонала. В статье анализируется эволюция этой практики: от ранней гибкости до создания внутреннего инкубатора Area 120, где такие инициативы получают ресурсы на постоянной основе. Оцениваются плюсы, риски и практические выводы для организаций, желающих внедрить подобные подходы.

The model that allows Google employees to allocate about 20 % of their work time to personal ideas and projects is examined as a driver of innovation and an employee motivator. This article analyzes the evolution of this practice: from early flexibility to the launch of the in-house incubator Area 120, where such initiatives gain full-time resources. Benefits, risks, and practical implications for organizations wishing to adopt similar approaches are assessed.

В технологической индустрии одной из ключевых задач является сочетание роста инноваций с мотивированностью сотрудников. Политика Google, позволявшая работникам тратить пятую часть своего времени на личные проекты, стала ярким примером такого подхода. Эта практика создавала пространство для творчества и инициатив, служила источником новых продуктов и способствовала развитию внутренней предпринимательской культуры.

Со временем Google трансформировал этот механизм — значительная часть инициатив перешла в специально выделенное подразделение Area 120, где сотрудники могут работать над идеями на постоянной основе. В этой статье рассматривается становление «20 % времени», её влияние на мотивацию персонала и инновационную активность, а также сложности и перспективы применения такого подхода в других организациях.

Идея предоставления сотрудникам Google времени для работы над собственными проектами берет своё начало с ранних лет компании. В первые годы практики сотрудники могли использовать примерно один день в неделю, или около 20 % рабочего времени, для реализации своих идей, которые не всегда были связаны с их основными обязанностями. Эта инициатива позволяла работникам экспериментировать с новыми подходами и технологиями, создавая пространство для творческого мышления и инноваций. Уже на этом этапе практика показала свою эффективность: именно побочные проекты, возникшие в рамках «20 % времени», стали основой для появления нескольких ключевых сервисов Google. Среди них особо отмечают такие продукты, как Gmail и Google News, которые сначала были побочными экспериментами сотрудников, а затем превратились в массово используемые сервисы компании.

К 2016 году компания решила формализовать и расширить эту практику, создав внутренний инкубатор Atea 120. Название подразделения отражает идею «120» — сотрудники работают над своими проектами полностью, «100 % времени», хотя сами идеи берут начало из концепции 20 % времени. Atea 120 предоставляет командам ресурсы, менторство и инфраструктуру, необходимые для превращения экспериментальных задумок в реальные продукты, способные выйти на рынок. Такой подход позволяет сотрудникам не ограничиваться только повседневными обязанностями, а пробовать новые идеи в структурированной и поддерживаемой среде [4].

Таким образом, практика «20 % времени» эволюционировала от неформальной инициативы до полноценного внутреннего инкубатора инноваций. Она демонстрирует, как компании могут стимулировать творческую активность сотрудников и создавать условия для появления прорывных технологий. История развития этой практики в Google показывает, что стратегическая поддержка экспериментальной деятельности способна не только повышать мотивацию работников, но и приводить к появлению значимых продуктов, формирующих будущее компании и отрасли в целом.

Подход, при котором сотрудники имеют возможность самостоятельно инициировать и развивать проекты, положительно влияет на их мотивацию. Возможность работать над значимыми для себя задачами усиливает чувство автономии и значимости, что повышает вовлечённость.

Многие идеи, зародившиеся в рамках этой свободы, превратились в продукты с высокой добавленной стоимостью. В блоге Google Cloud подчёркивается, что «20 % времени» позволило компании стимулировать

творческое мышление и корпоративное предпринимательство, а Area 120 — стать средой, где идеи получают системную поддержку.

Кроме того, сотрудники, занимающиеся собственными проектами, развивают важные компетенции — проектное мышление, командное взаимодействие, умение трансформировать идею в минимально жизнеспособный продукт.

Несмотря на значительные преимущества, практика не лишена проблем. По сообщениям СМИ и бывших сотрудников, «правило 20 %» стало менее универсальным: его использование варьируется, и не все сотрудники действительно тратят выделенное время на личные проекты [1].

Есть риски конфликта между основной рабочей нагрузкой и побочными инициативами. Менеджеры не всегда поддерживают подобные проекты, особенно если они требуют значительных ресурсов или отвлекают от приоритетных задач.

Коммерциализация идей через Area 120 также сопряжена с жёстким отбором: не все инициативы получают финансирование или возможность расти. Более того, в 2022 году Google сократил число проектов в Area 120 примерно наполовину, перераспределив фокус подразделения на искусственный интеллект.

Существует и вопрос перегрузки сотрудников: часть людей жалуется, что «20 % проекта» фактически превращаются в работу на 120 % — свободное время перерастает в дополнительную нагрузку.

На основе изученного опыта можно предложить следующие рекомендации компаниям:

- Организовать внутренний инкубатор, подобный Area 120, чтобы идеи могли вырастать в структурированные проекты;
- Предоставлять гибкость в распределении «инновационного» времени: например, позволять накапливать часы или выделять их разово;
- Внедрить систему менторства и поддержки, чтобы сотрудники могли развивать идеи, а не оставались один на один с ними;
- Ввести процедуру отбора и фильтрации проектов, чтобы ресурсы шли на наиболее перспективные инициативы;
- Балансировать экспериментальные проекты и основные обязанности, чтобы побочные инициативы не снижали эффективность бизнес-операций;
- Формировать культуру доверия и признания: руководители должны демонстрировать, что ценят экспериментальность и поддержку новых идей.

Модель, согласно которой сотрудники Google получают значительную часть времени для работы над собственными идеями,

показала себя как крайне эффективный инструмент для стимулирования инноваций и поддержания высокой мотивации внутри компании. Практика «20 % времени» изначально предоставляла сотрудникам возможность экспериментировать, выходя за рамки их повседневных обязанностей, что создавало уникальную среду для проявления творческого потенциала. Именно благодаря этому подходу на свет появились такие значимые продукты, как Gmail и Google News — проекты, которые изначально были побочными инициативами отдельных сотрудников. Этот опыт демонстрирует, что предоставление пространства для самостоятельной работы и инициативы не только повышает удовлетворённость сотрудников, но и создаёт реальную ценность для бизнеса.

Со временем практика эволюционировала в более формализованную структуру — внутренний инкубатор Area 120. Он позволил систематизировать экспериментальную деятельность, предоставив командам ресурсы, менторство и инфраструктуру для превращения идей в продукты, способные выйти на рынок. Важным аспектом стало то, что сотрудники получили возможность полностью сосредоточиться на своих проектах, работая над ними «100 % времени», при этом сохраняя связь с корпоративной стратегией. Такая организация работы позволяет минимизировать риски, связанные с хаотичными экспериментами, одновременно сохраняя свободу креативного поиска.

Разумеется, подход сопряжён с определёнными вызовами. Он требует значительных ресурсов — как временных, так и финансовых — и потенциально может привести к перегрузке сотрудников, если не удастся правильно распределить задачи. Кроме того, не все идеи оказываются жизнеспособными или приносят прямую коммерческую пользу. Тем не менее опыт Google показывает, что при разумной организации и стратегическом подходе даже высокорискованные инициативы способны приносить ощутимые результаты. Важным элементом успеха является культура доверия, поддержка руководства и наличие чёткой структуры, которая позволяет трансформировать экспериментальные проекты в реальные продукты.

Для других организаций адаптация этой модели может стать ключом к повышению вовлечённости сотрудников и стимулированию новаторской активности. Возможность выделить время для личных инициатив и экспериментов способствует формированию атмосферы, в которой сотрудники чувствуют свою значимость, свободу выражения идей и ответственность за результат. Это особенно важно в условиях высокой конкуренции и быстро меняющихся рынков, где способность генерировать инновации становится стратегическим преимуществом.

Таким образом, практика предоставления сотрудникам времени для работы над собственными идеями иллюстрирует, как организация может объединить мотивацию, креативность и стратегические цели. Она демонстрирует, что инновации не всегда рождаются в рамках строго определённых обязанностей — зачастую прорывные идеи возникают в момент, когда человек получает возможность свободно исследовать новые направления. Опыт Google показывает: при грамотной организации и поддержке руководство, внедрение подобных подходов способно создать устойчивую инновационную культуру, которая одновременно повышает удовлетворённость сотрудников и усиливает позиции компании на рынке.

Литература

1. Гринштейн С. Мнения экспертов об ушедшем в историю «правиле 20 %» Google [Электронный ресурс] // Хабр. – 2016. – URL: <https://habr.com/ru/articles/309630/> (дата обращения: 15.11.2025).
2. Ализар А. Правило 20 % больше не действует в Google [Электронный ресурс] // Хабр. – 2013. – URL: <https://habr.com/ru/articles/190362/> (дата обращения: 15.11.2025).
3. Ярова М. В Google отменили «правило 20 %»: инновационных проектов больше не будет [Электронный ресурс] // AIN.ua. – 19.08.2013. – URL: <https://ain.ua/ru/2013/08/19/v-google-otmenili-pravilo-20-innovacionnyx-proektov-bolshe-ne-budet/> (дата обращения: 15.11.2025).
4. Helft M. Google CEO Sundar Pichai confirms Area 120 corporate incubator [Electronic resource] // Forbes. – 19.05.2016. – URL: <https://www.forbes.com/sites/miguelhelft/2016/05/19/google-ceo-sundar-pichai-confirms-area-120-corporate-incubator/> (accessed: 16.11.2025).
5. Google сворачивает большинство проектов в своём инкубаторе Area 120 [Электронный ресурс] // Хабр. – 2023. – URL: <https://habr.com/ru/news/712188/> (дата обращения: 16.11.2025).
6. Google закрывает половину проектов в своей лаборатории Area 120 [Электронный ресурс] // Хабр. – 2022. – URL: <https://habr.com/ru/news/688402/> (дата обращения: 17.11.2025).
7. Google создает стартап-инкубатор «Area 120», чтобы сотрудники не уходили из компании [Электронный ресурс] // Хабр. – 2016. – URL: <https://habr.com/ru/articles/368791/> (дата обращения: 17.11.2025).

ПРОБЛЕМЫ УЧАСТИЯ ГОСУДАРСТВА В АКЦИОНЕРНЫХ ОБЩЕСТВАХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В. А. Тюленев

**Российская академия народного хозяйства и государственной
службы при Президенте Российской Федерации**

г. Владимир, vlad160304@icloud.com

Научный руководитель: Савельева Е. В., к.э.н., доцент

В статье рассматриваются проблемы участия государства в акционерных обществах и возможные пути их решения; затронуты вопросы правового положения государственных акционеров и специфика управления в компаниях с государственным участием.

The article discusses the problems of state participation in joint-stock companies and possible solutions to them; the issues of the legal status of state shareholders and the specifics of management in companies with state participation are touched upon.

Существует много способов влияния государства на различные сектора экономики. Одним из них является участие государства в акционерных обществах. Такое участие позволяет контролировать макроэкономическую устойчивость над стратегически важными секторами экономики, которые выполняют социально значимые функции, иметь наибольшую стабильность, осуществлять более долгосрочные проекты. Несмотря на это, у этой медали есть и другая сторона. По причине более сложной системы управления и контроля, по сравнению с частным сектором, в данном виде взаимодействия наблюдается гораздо больше проблем, сбоев и «слабых мест».

«Участвуя в АО, государство осуществляет все права акционера (в том числе права на участие в управлении, на получение дивидендов и др.) наряду с другими частными акционерами. При этом государство остаётся носителем публичной власти, осуществляющим нормативно-правовое регулирование соответствующих отношений, что приводит к двойственности и противоречивости положения государства как акционера АО с государственным участием и как регулятора» [3 с.144]

Главной проблемой участия государства в акционерных обществах является конфликт публичных и коммерческих интересов. Возникает необходимость учета экономических, социально значимых, стратегических и политических вопросов в комплексе. Таких, например, как импортозамещение, доступность услуг, обслуживание льготных групп граждан, получение прибыли и т.д.

Одним из ярких примеров такого конфликта может служить ОАО «РЖД», компании с полным участием государства, которое за три

квартала 2025г. показало убыток в размере 4,2 млрд. руб. [5] Пассажирские перевозки убыточны десятилетиями. Ежегодно государство компенсирует компании часть ее затрат и в этом есть фактически скрытая его социальная функция, встроенная в структуру перевозчика.

Следующей проблемой участия государства в акционерных обществах является низкая эффективность корпоративного управления. Это своего рода отголоски и неотъемлемая часть работы государственного сектора: высокая бюрократизация, отсутствие персональной ответственности, политические назначения топ менеджеров, формальные КРП и т.д.

Коррупционные риски и непрозрачность так же являются следствием вышеупомянутой проблемы. «Имеет место формальное отношение к содержанию принимаемых документов со стороны сотрудников общества, подготавливающих проекты, и членов советов директоров, их принимающих. Отсутствует корреляционная зависимость между содержанием долгосрочной программы развития, среднесрочной программы развития, ключевыми показателями эффективности, годовыми бюджетами и итогами по финансовым годам, что позволяет менеджменту общества «показывать» ту выручку, которую он считает нужной, тратить полученные средства так, как ему видится, в том числе через неэффективные и непрозрачные закупки». [4 с.34]

Кроме названных проблем существуют также и вопросы, связанные с ограниченной конкуренцией и монополизмом. Нередко такого рода компании используются в качестве инструментов внешней политики. Например, проект «Северный поток - 2», который имел слабые шансы на окупаемость, но условиях современной политической обстановки, он был реализован как геополитический проект.

Рассмотрев основные проблемы участия государства в акционерных обществах, хочется обозначить наиболее рациональные пути их решения.

В первую очередь необходимо разграничить функции государства и тем самым выделить две формы компаний:

- коммерческие гос. компании, ориентированные на получение прибыли;
- социально значимые гос. компании, получающие прямое субсидирование.

Вторым моментом необходимо отметить усовершенствование нормативно-правовой базы в аспекте управления акционерными обществами с государственным участием.

Третьей задачей является проведение реформы корпоративного управления. Это позволит повысить роль управляющего топ

менеджмента корпораций, внедрить долгосрочные KPI, создаст прозрачность процедур закупок, расходов. Для этого предлагается обязательная публикация отчетов о крупных проектах, ежегодный внешний аудит по международным стандартам.

Еще одним моментом, который мог бы улучшить ситуацию в данном сегменте экономики, является ограничение монополизма и стимулирование конкуренции.

Таким образом, несомненным остается тот факт, что участие государства в акционерных обществах является важнейшим инструментом обеспечения стратегической стабильности России. Однако эффективность государственного участия ограничивается институциональными противоречиями, связанными с конфликтом интересов, монополизмом, политизацией и слабым управлением.

Проведя анализ данной проблематики, разумным представляется решение проведения последовательной реформы: разделения функций государства, повышения прозрачности деятельности, укрепления внутреннего корпоративного управления и расширения конкуренции.

В целом стоит отметить, что трансформация модели государственного участия в АО способна повысить устойчивость российской экономики, уменьшить зависимость от политических рисков и улучшить качество управления ключевыми активами страны.

Литература:

1. Федеральный закон № 208-ФЗ «Об акционерных обществах» [Электронный ресурс]. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8743/ (дата обращения: 27.11.2025).
2. Мартыненко Т. В., Бондаренко Ю. А. Проблемные вопросы и современные тенденции в управлении компаниями с участием государства в Российской Федерации // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2021. № 3. С. 35–40. <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2021-1-3-35-4>.
3. Макарова О. А. Корпоративное право Проблемы управления в акционерных обществах с госучастием: учебник для вузов /— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2025. — 230 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21350-8 [Электронный ресурс] // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/569797> (дата обращения: 27.11.2025).
4. Яковлев А. Ю. Управление российскими компаниями с государственным участием: методологические и практические аспекты: Научный доклад. - М.: Институт экономики РАН, 2019. – 42 с

[Электронный ресурс]. — URL: https://inecon.org/docs/2019/Yakovlev_paper_2019.pdf (дата обращения 26.11.2025).

5. РБК. Бизнес. В РЖД связали убыток в 4,2 млрд. руб. с высоко учетной ставкой [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.rbc.ru/business/31/10/2025/69046ac69a79472f0894ac20> (дата обращения 28.12.2025).

НЕТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЕРСОНАЛА

Д. А. Чаплыгина

Новосибирский государственный технический университет

Новосибирск, hellodasha.mail@mail.ru

Научный руководитель: Юдина Л. И., к.э.н., доцент

В статье анализируются современные подходы к оценке персонала, с акцентом на нетрадиционные методы, позволяющие глубже выявлять потенциал, личностные качества и поведение сотрудников. Отмечены их преимущества и ограничения.

The article analyzes modern approaches to personnel assessment, with an emphasis on non-traditional methods that allow deeper identification of potential, personal qualities and behavior of employees. Their advantages and limitations are noted.

Современные организации работают в условиях высокой конкуренции и быстрых изменений, поэтому качество человеческих ресурсов становится ключевым фактором успеха. Эффективность компании во многом зависит от точности оценки персонала, позволяющей определить профессиональные и личностные качества сотрудников.

Традиционные методы (тесты, интервью, анкетирование) нередко дают лишь поверхностные результаты и не позволяют выявить реальные поведенческие особенности и потенциал. В связи с этим всё большее распространение получают нетрадиционные методы оценки, направленные на комплексное изучение личности.

Оценка персонала — это систематическая деятельность по определению соответствия характеристик сотрудника требованиям должности и задачам организации [1]. Она служит основой для принятия решений о развитии, продвижении и мотивации работников [2].

Основные цели оценки: выявление потенциала, определение соответствия должности, получение объективной обратной связи и снижение кадровых рисков.

Чтобы система оценки была достоверной, важно соблюдать принципы объективности, комплексности, прозрачности и регулярности.

Таким образом, теоретическая база оценки персонала формирует представление о её значении в HR-системе, целях, задачах, функциях и принципах. На базе этой теории можно далее рассматривать более современные или нетрадиционные методы оценки (что мы и сделаем в следующих пунктах).

Современные организации всё активнее используют нестандартные, или нетрадиционные, методы оценки персонала, поскольку классические подходы всё чаще оказываются недостаточными для выявления скрытого потенциала, личностных особенностей и способности к адаптации сотрудников. [3]

Ниже приведена классификация и описание ключевых видов таких методов.

Ассесмент-центр (Assessment centre): методика «ассесмент-центр» представляет собой комплексный подход к оценке, в рамках которого участнику предлагается выполнить ряд моделирующих упражнений: деловые игры, кейс-задания, групповые дискуссии, индивидуальные интервью и тесты [4]. Основная идея: оценка не только знаний или умений, но поведения сотрудника в ситуациях, максимально приближенных к рабочим условиям. Применимо при отборе на руководящие позиции или позиции с высокой ответственностью, при формировании кадрового резерва; при оценке потенциала, а не только текущей результативности.

Преимущества метода: высокая валидность метода (в некоторых исследованиях — до 95 %). [5] Ограничения: требует значительных ресурсов (времени, квалифицированных оценщиков, моделирования), не всегда оправдан для массовой оценки сотрудников.

Метод «360 градусов» — это оценка сотрудника с привлечением отзывов от нескольких категорий источников: руководителя, коллег, подчинённых, а при необходимости — клиентов и внешних партнёров. Суть в сборе обратной связи от множества респондентов по заранее разработанным критериям (часто связаны с компетенциями, поведением). Тут важно сравнение самооценки сотрудника и оценок его окружения — помогает выявить «слепые зоны».

Также нередко нетрадиционные методы включают деловые игры, ролевые ситуации и симуляции, целью которых является моделирование реальных рабочих ситуаций с целью оценки поведения, принятия решений, коммуникаций и лидерства. Например, методы, когда сотрудники должны в команде решить кейс-задачу, либо реагировать на кризисную ситуацию. Это позволяет увидеть, как сотрудник действует в

динамике, под давлением, в группе. Требуется организация: подготовка сценариев, фасилитаторы, оценщики. Результаты могут быть субъективны, если не выстроена система оценки.

Под нетрадиционными также можно отнести методы, ориентированные на выявление не только текущего уровня компетенций, но и потенциала развития: психологические тесты (личностные опросники, проективные методы), анализ мотивации, эмоционального интеллекта и др.

Психогеометрический тест Сьюзен Деллингер: основан на предположении, что человек бессознательно выбирает геометрическую фигуру, отражающую его личностные качества и поведение.

Испытуемому предлагается выбрать из пяти фигур (квадрат, треугольник, круг, прямоугольник, зигзаг) ту, которая «ближе» к нему. Каждая фигура символизирует определённый тип личности. Метод используется при подборе персонала, оценке совместимости членов команды и при профориентации [7].

Метод цветowych ассоциаций Люшера. Испытуемому предлагают выбрать из набора цветов (обычно 8) те, которые ему наиболее и наименее приятны. Порядок выбора отражает эмоциональное состояние, мотивацию и уровень стресса человека. Метод используют при оценке эмоциональной устойчивости сотрудников, особенно в стрессовых профессиях (авиация, медицина, служба поддержки).

Геймификация в оценке персонала: использование игровых механик и элементов (баллы, уровни, миссии, соревнование) в неигровом контексте, например, в HR-процессах. Используется на онлайн-платформах, где кандидаты решают игровые задачи, проявляя навыки логики, коммуникации, лидерства; в деловых симуляциях: сотрудники участвуют в управлении «виртуальной компанией». Из преимуществ выделяют: высокую вовлечённость участников; возможность оценить естественное поведение, а не «социально желательные» ответы; а также то, что метод подходит для молодых поколений сотрудников (Gen Y, Z).

Внедрение нетрадиционных методов оценки персонала предоставляет организациям новые возможности для более глубокой диагностики сотрудников, однако сопряжено с определёнными рисками. Применение таких подходов, как игровые симуляции, нейрометрики, биометрия и анализ невербальных сигналов, позволяет *оценивать не только профессиональные знания, но и поведение*, эмоциональные реакции и потенциал развития работников. Это повышает *реалистичность и валидность результатов*, поскольку моделируются реальные рабочие ситуации, что даёт возможность точнее прогнозировать эффективность сотрудника в профессиональной

деятельности. Кроме того, использование игровых и цифровых элементов делает *процесс оценки более интересным и вовлекающим*, снижая сопротивление участников, а анализ обратной связи и невербальных проявлений помогает выявить скрытые компетенции и потенциальные зоны развития. Внедрение инновационных технологий, таких как биометрия и нейроаналитика, обеспечивает организациям *современный и конкурентный подход* к управлению персоналом.

В то же время у нетрадиционных методов существуют и недостатки. Их реализация требует значительных финансовых и кадровых ресурсов, специализированного оборудования и программного обеспечения. Ряд методик пока не обладает достаточной исследовательской базой и стандартизированными протоколами, что снижает надёжность результатов. Дополнительные сложности создают этические и правовые аспекты, связанные с использованием биометрических данных и обеспечением конфиденциальности информации. Для некоторых сотрудников подобные формы оценки могут быть стрессовыми, что также отражается на достоверности результатов. Кроме того, неверная интерпретация полученных данных или изолированное использование нетрадиционных методов без комплексного анализа может привести к ошибочным кадровым решениям.

Исследования показали, что основные преимущества нетрадиционных методов заключаются в их высокой информативности, реалистичности, возможности комплексного анализа личности и повышении вовлечённости участников. В отличие от традиционных тестов, они позволяют оценить поведение человека в действии, в том числе в стрессовых или неопределённых ситуациях. Это делает результаты более точными и применимыми для кадровых решений.

Литература:

1. Иванова-Швец Л. Н. Оценка персонала в системе управления персоналом организации // Российский экон-ий ун-тет имени Г. В. Плеханова (РЭУ), 2020.
2. Методы оценки персонала - какие ставятся цели [Электронный ресурс] // Академия бизнеса MBA. — URL: <https://moscow.mba/journal/ocenki-personala-metody-i-vidy-zachem-provodit-proverku-sotrudnikov> (дата обращения: 25.11.2025).
3. Кочнева П. А. Традиционные и нетрадиционные методы оценки персонала // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2012.
4. Ассессмент-центр — метод проведения оценки персонала [Электронный ресурс] // Formatta, 2024. — URL:

<https://formatta.ru/blog/assessment-centr-metod-provedeniya-ocenki-personala/> (дата обращения: 23.11.2025).

5. Санович М. А., Нехорошкова А. Г. Методы оценки персонала // Экономика. Менеджмент. Человек. - 2019. - №16.

6. Как оценить работу персонала: метод 360 [Электронный ресурс] // Eduson.blog. — URL: <https://blog.eduson.academy/articles/upravlenie/kak-otsenit-rabotu-personala-metod-360/> (дата обращения: 24.11.2025).

7. Психогеомерический тест С. Деллингер (адаптация А. А. Алексеева, Л. А. Громовой) [Электронный ресурс] // Бальшем Юлия Вячеславовна. — URL: <https://testoteka.narod.ru/pm/1/16.html> (дата обращения: 24.11.2025).

8. Gamification in HR: Use Cases and Examples in Action [Electronic resource] // peek&poke. — URL: <https://peekandpoke.com/blog/gamification-in-hr/> (accessed: 25.11.2025).

9. Как геймификация увеличила вовлечённость на 15%: разбор реальных HR-кейсов [Электронный ресурс] // ADPASS. — URL: <https://adpass.ru/kak-gejmifikatsiya-uvlechila-vovlechyonnost-na-15-razbor-realnyh-hr-kejsov/> (дата обращения: 26.11.2025).

МАЛЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АКАДЕМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И БИЗНЕСА В РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Е. В. Черникова

**Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирский государственный университет экономики
и управления «НИНХ»,**

г. Новосибирск, ekatchernic@mail.ru

Научный руководитель: Чиркова И.Г., д.э.н., профессор

Исследование посвящено изучению особенностей развития малых инновационных предприятий как одного из вариантов взаимодействия академической и бизнес-среды. В рамках работы представлен анализ малых инновационных предприятий в следующих аспектах: отраслевой, региональный, финансовый. Выявлены тенденции их развития.

This study examines the development of small innovative enterprises as one of the ways in which academic and business communities interact. It analyzes small innovative enterprises across industry, regional, and financial dimensions. Development trends are identified.

Инновационное развитие является ключевым фактором экономического роста, а сотрудничество университетов и бизнеса играет в нём центральную роль, обеспечивая трансфер технологий. Малые инновационные предприятия как инструмент такого взаимодействия позволяют переводить научные разработки в практические решения, что делает их анализ важным для понимания инновационного развития регионов [3; 4; 7].

Малое инновационное предприятие (МИП) это хозяйственное общество, деятельность которого заключается в практическом применении (внедрении) результатов интеллектуальной деятельности [5].

В 2009 году Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» № 217-ФЗ от 02.08.2009 г. дал вузам, научным и научно-исследовательским институтам право создавать МИПы для внедрения разработок.

Объект исследования – малые инновационные предприятия (МИП), функционирующие в научно-образовательной сфере и участвующие во взаимодействии университетов и бизнеса в рамках инновационного развития региона.

Для анализа использованы статистические данные информационной системы «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы» (ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ). Перейдем к полученным результатам.

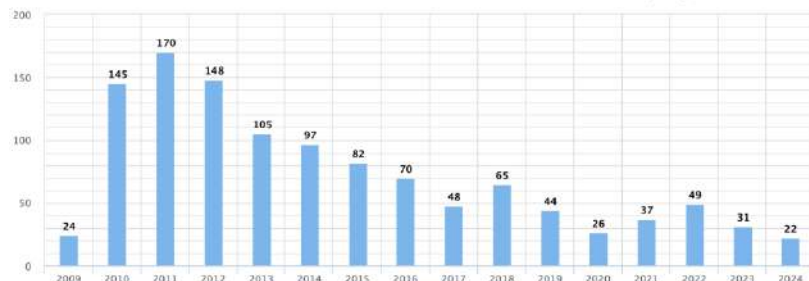


Рис. 1 – Количество созданных с МИПов за 2009-2024 гг. [5]

Рисунок 1 демонстрирует отчётливую нисходящую тенденцию в количестве создаваемых хозяйственных обществ (ХО) за период 2009–2024 гг. В 2009–2011 гг. наблюдается резкий рост показателей, а в 2012–2017 гг. начинается устойчивый спад. В 2023–2024 гг. показатели снова

снижаются и фактически возвращаются к первоначальному уровню. В динамике присутствуют локальные “всплески”, однако они не меняют общей тенденции. Так, долгосрочный тренд оказывается отрицательным: с высшей точки в 170 ХО (2011 г.) показатель упал более чем в 7 раз к 2024 году.

После оценки временной динамики важно понять, какая структура лежит в её основе, в частности — кто выступает инициатором создания МИПов: вузы или НИИ. По данным на 19.11.2025 года в базе данных есть записи о 1182 действующих МИПов. В результате деятельности 249 высших учебных заведений было создано 1027 малых инновационных предприятий, тогда как 105 научных организаций инициировали создание ещё 173 таких предприятий [5]. Таким образом, активность высших учебных заведений является значительно более высокой.

Информационная система «Учет и мониторинг малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы» позволяет выделить приоритетные направления действующих МИПов. Наибольшее их число приходится на биотехнологии (275 предприятий), ИТ и телекоммуникации (256), а также энергоэффективность и энергетику (203), что отражает приоритетность этих технологических направлений. Сектора nanoиндустрии, природопользования, транспорта, космоса, безопасности и робототехники представлены заметно меньше и занимают существенно меньшую долю. Далее рассмотрим какие типы РИД создаются наиболее часто (таблица 1).

Таблица 1 - Структура РИД [5]

Тип РИД	Количество	Доля (%)
Ноу-хау	412	33,61%
Программы для ЭВМ	323	26,35%
Изобретение	293	23,90%
Полезная модель	108	8,81%
База данных	51	4,16%
Селекционные достижения	16	1,31%
Промышленный образец	5	0,41%
Не указано	2	0,16%

Структура РИД отражает технологические приоритеты МИП: доминирование ноу-хау и программ для ЭВМ связано с высоким удельным весом IT-проектов и стремлением к быстрой коммерциализации. Меньшая представленность других типов РИД показывает ограниченную вовлечённость МИП в инженерно-

конструкторские направления и подтверждает ориентацию на гибкие формы внедрения инноваций.

Важным аспектом является рассмотрение этого процесса с точки зрения распределения активности по регионам.

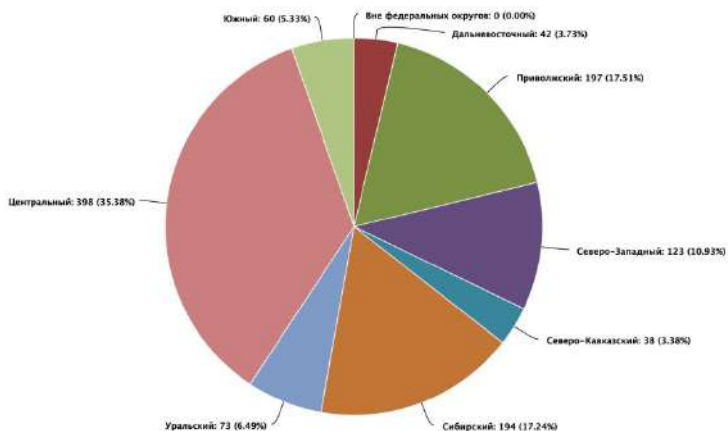


Рис. 2 – Региональная структура МИПов [5]

Представленные данные показывают выраженный дисбаланс в распределении малых инновационных предприятий по федеральным округам. Лидером по их числу является Центральный федеральный округ, на долю которого приходится 398 предприятий (35,38%). Существенный вклад также вносят Приволжский и Сибирский округа, имеющие развитые научно-образовательные центры и промышленную базу. Северо-Западный округ демонстрирует стабильный уровень инновационной активности благодаря потенциалу Санкт-Петербурга. Южный, Уральский, Северо-Кавказский и Дальневосточный округа заметно уступают лидерам, что указывает на недостаток инфраструктуры и слабую интеграцию в инновационные цепочки.

Следует также провести анализ экономических аспектов функционирования МИПов. Обращаясь к источникам средств, привлеченных МИПами, на основании данных 2021 года и 2025 году прослеживается тенденция в сторону увеличения использования средств бюджета. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Источники привлеченных средств [1; 5]

Источник средств	2021 год	2025 год
Кредиты и займы:	47%	34%
Средства бюджета:	31%	51%
Средства фондов	16%	12%
Средства учредителя	5%	3%

Перейдем к основным выводам по результатам исследования. С 2011 года наблюдается устойчивое снижение числа создаваемых МИПов, что сочетается с выраженной региональной неравномерностью их развития и зависимостью от качества университетской среды. Технологическая специализация предприятий смещается в сторону высокотехнологичных сфер, а преобладание ноу-хау и программного обеспечения показывает ориентацию на быстрые и гибкие формы внедрения инноваций. При этом усиливающаяся зависимость МИПов от бюджетного финансирования подчёркивает необходимость создания более благоприятных условий для университетского предпринимательства и взаимодействия науки с бизнесом.

Таким образом, полученные результаты позволяют выявить проблемные аспекты механизма взаимодействия академической среды и рыночных субъектов в реализации инновационного развития региона.

Литература:

1. Анализ результатов мониторинга деятельности малых инновационных предприятий научно-образовательной сферы / Т. И. Турко, А. И. Смирнов, В. Ф. Федорков [и др.] // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2022. – № 2(34). – С. 10-30.
2. Анализ экономической деятельности малых инновационных предприятий, созданных в научно-образовательной сфере / В. Ф. Федорков, Т. И. Турко, А. И. Смирнов [и др.] // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2023. – № 2(36). – С. 10-23.
3. Грасмик К. И., Дусь Ю. П. Малые инновационные предприятия при вузах и научных организациях: возможно ли развитие? // Вестник УРФУ. Серия «Экономика и управление». 2013. № 6. С. 34-44.
4. Мероприятия и анализ экономической деятельности малых инновационных предприятий, созданных в научно-образовательной сфере России за 2022-2023 годы / Т. И. Турко, В. Ф. Федорков, Н. Н. Одинцова [и др.] // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2024. – № 2(38). – С. 19-31.

5. Статистика гос. учета и сбора сведений о деятельности МИП [Электронный ресурс]. – URL: <https://mip.extech.ru/statistics.php> (дата обращения: 19.11.2025).

6. Статистика и инструменты государственного учета малых инновационных предприятий, созданных в научно-образовательной сфере / Т. И. Турко, В. Ф. Федорков, Н. Н. Одинцова [и др.] // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2024. – № 1(37). – С. 10-21.

7. Тевелева О. В., Неволин И. В. Малые инновационные предприятия. 11 лет практики // Инновации. – 2021. – № 3(269). – С. 16- 29.

ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЛАВУЧИХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

К. В. Шлегель

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, kirillus4life@gmail.com

Научный руководитель: Гришина Е. А., к.э.н., доцент

Освоение труднодоступных зон Российской Федерации, таких как Арктика, Дальний Восток и Север, является стратегическим приоритетом национальной безопасности и социально-экономического развития. Однако суровые климатические условия и отсутствие развитой энергетической инфраструктуры регионов создают серьёзные вызовы для обеспечения устойчивого энергоснабжения промышленных объектов, таких как Баимский горно-обогатительный комбинат (ГОК), и населённых пунктов. В этих условиях плавучие атомные теплоэлектростанции (ПАТЭС) представляют собой перспективное решение, сочетающее мобильность, высокий уровень безопасности и экологическую чистоту.

The development of remote regions of the Russian Federation — including the Arctic, the Far East, and the North — is a strategic priority for national security and socio-economic development. However, harsh climatic conditions and the lack of developed energy infrastructure pose significant challenges to ensuring reliable and sustainable power supply for industrial facilities such as the Baimsky Mining and Processing Complex and remote settlements. In this context, offshore nuclear power plants represent a promising solution, combining mobility, high safety standards, and environmental sustainability.

ПАТЭС представляют собой корабли-энергоблоки, способные не только обеспечивать энергией себя, но и передавать электроэнергию и тепло внешним потребителям. Это решение идеально подходит для Арктики, островных территорий и зон бедствий, где строительство

наземных электростанций экономически или технически невыгодно или невозможно [1].

Первый в мире опыт эксплуатации плавучей АЭС был реализован в США в 1967 году — судно МН-1 «Стёрджес» мощностью 10 МВт работало у Панамского канала 7 лет. Однако проект не получил дальнейшего развития из-за высокой стоимости и сложности обслуживания. В СССР разработки также велись, но были приостановлены. Только в 2020 году госкорпорацией «Росатом» была введена в эксплуатацию первая в мире промышленная ПАТЭС «Академик Ломоносов» [1].

ПАТЭС «Академик Ломоносов» — это судно длиной 144 м и водоизмещением около 21500 тонн оснащено двумя реакторными установками КЛТ-40С общей мощностью 70 МВт электроэнергии и 146 Гкал/ч тепла. По расчетам, одна ПАТЭС мощностью 70 МВт может обеспечить электричеством город с населением до 66 тысяч человек, а теплом - до 16,5 тысяч. Это позволяет покрыть потребности большинства арктических городов и промышленных объектов, где нет сетевой инфраструктуры.

На данный момент ПАТЭС «Академик Ломоносов» обеспечивает энергией город Певек (Чукотский АО) и является доказательством возможности создания безопасных и надежных мобильных энергоисточников [1].

ПАТЭС можно доставить в любую точку мира, где есть доступ к воде. Они спроектированы с многоуровневой защитой (двойное дно, борта), обеспечивают полную локализацию всех операций с отработавшим топливом и радиоактивными отходами на борту. При этом они не выбрасывают CO_2 , что делает их экологически чистым решением. «Росатом» позиционирует ПАТЭС как часть своей продуктовой стратегии в сегменте атомных станций малой и средней мощности.

Однако ПАТЭС имеет высокую стоимость, что сделало ее энергетику дорогой. Сейчас «Росатом» разрабатывает новые плавучие энергоблоки (ПЭБ), основанные на унифицированных и серийных решениях, которые будут значительно дешевле. В 2024 году «Росатом» представил линейку ПЭБ РИТМ мощностью 100, 106 и 180 МВт, ориентированную как на внутреннего, так и на международного заказчика. Адаптация этих решений под современные требования создаст новые рынки экспорта российских технологий [2].

Замена реактора КЛТ-40С на более мощный и долговечный РИТМ-200 или РИТМ-400 позволит увеличить выработку энергии и снизить приведенную стоимость электроэнергии (LCOE) [3].

Показатель LCOE рассчитывается на основе «Единых отраслевых методических указаний по определению показателя LCOE и предельной стоимости сооружения АЭС в России, обеспечивающей конкурентоспособный уровень показателя LCOE», утвержденных приказом Госкорпорации «Росатом» от 14.04.2017 №1/320-П.

Сравнение характеристик ПЭБ представлено в таблице. За одну относительную единицу (о.е.) приняты характеристики МПЭБ с РУ РИТМ-200С.

Таблица - Сравнение характеристик ПЭБ

Параметр	МПЭБ с РУ РИТМ- 200С	ПЭБ с РУ РИТМ- 200М	ПЭБ с РУ РИТМ- 400М
Тепловая мощность РУ, МВт	2×198	2×198	2×340
Коэффициент использования установленной мощности	0,9	0,9	0,9
Электрическая мощность (брутто), МВт	116	116	200
Выдаваемая электрическая мощность, МВт	106	106	180
Капитальные затраты (CAPEX), о.е	1	1,084	1,453
Эксплуатационные затраты (OPEX), о.е	1	1,012	1,4
Приведенная стоимость электроэнергии (LCOE) при ставке дисконтирования 10%, о.е.	1,0	1,007	0,843

Таким образом, освоение труднодоступных регионов - стратегический приоритет России. Для этого необходима развитая инфраструктура, включая энергетическую. Для повышения экономической эффективности необходимо переходить от единичного к серийному производству ПЭБ. «Росатом» уже работает над созданием мощностного ряда ПЭБ (50–100 МВт и 100–200 МВт), чтобы закрыть весь диапазон потребностей.

Использование ПЭБ позволит обеспечить энергией не только населенные пункты, но и крупные промышленные объекты. Для электроснабжения Баимского ГОКа, потребление которого составляет

274 МВт, планируется использование 4 плавучих энергоблоков с реактором РИТМ-200С.

Литература:

1. Академик Ломоносов [Электронный ресурс] // ruwiki. – URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Академик_Ломоносов (дата обращения: 30.10.2025).

2. Росатом показал линейку плавучих атомных электростанций [Электронный ресурс] // Энергия единой сети. – URL: <https://энергия-единой-сети.рф/novosti/rosatom-pokazal-linejku-plavuchih-atomnyh-elektrostantsij/> (дата обращения: 01.11.2025).

3. Отчет по экологической безопасности Филиала АО «Концерн Росэнергоатом», «Плавучая атомная теплоэлектростанция» за 2021 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.rosatom.ru/upload/iblock/13e/13eec15e5587117425df43eb48df2a16.pdf> (дата обращения: 01.11.2025).

4. Экономика и технологии плавучих атомных теплоэлектростанций: ПАТЭС «Академик Ломоносов» [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomika-i-tehnologii-plavuchih-atomnyh-teploelektrostantsiy-pates-akademik-lomonosov/viewer/> (дата обращения: 03.11.2025).

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

Секция ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ, БИОЛОГИЧЕСКИХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Алешина Д. С., Авдееenko Е. А., Гассан А. Д.	Новосибирск	3
Ахмедова Т. Д., Каргаполова И. Ю., Шелковников В. В.	Новосибирск	6
Базанова Е. Д., Григорьева В. Д., Бондарева А. Ф.	Новосибирск	10
Бондарчик И. И., Назаренко Т. В., Шуваракова Е. И.	Новосибирск	13
Брестер А. Е., Швецов Д. А., Жуков В. И.	Новосибирск	17
Гладышев И. И.	Новосибирск	20
Грибанова Н. А., Комова О. В.	Новосибирск	23
Дубовская П. И., Дранников А. А.	Новосибирск	27
Еремеева Н. Н., Швецов Д. А., Жуков В. И.	Новосибирск	30
Иванова Е. Д., Брестер А. Е., Жуков В. И.	Новосибирск	34
Каёткин В. Е., Козьмин С. В., Титова С. М.	Новосибирск	38
Коваленко В. Н., Головахин В. В., Баннов А. Г.	Новосибирск,	42
Колыванов А. С., Гудыма Т. С., Баннов А. Г.	Новосибирск	45
Кулешова Д. А.	Новосибирск	47
Лаптев Е. Д., Черендина О. В., Шубникова Е. В.	Новосибирск	50
Лаптинов А. А., Апарнев А. И., Логинов А. В.	Новосибирск	52
Лейрих В. А., Титков А. И., Логутенко О. А.	Новосибирск	55

Лозбень А. Д., Шишин А. А., Кох К. А., Баннов А. Г.	Новосибирск	60
Микроков А. А., Дюльдина М. В.	Самара	62
Турло Е. М., Милле И. Ю.	Новосибирск	64
Мустафина К. А., Новгородцева О. Н.	Новосибирск	67
Никонова С. Г., Афонина Л. И.	Новосибирск	70
Шивцов Д. М., Разуваев Е. В., Ильина Е. В.	Новосибирск	74
Ридель Н. С., Ковалева С. А., Веремей И. С.	Новосибирск, Минск	77
Савенко М. Е., Дранников А. А., Пестов А. В.	Новосибирск, Екатеринбург	80
Хайруллина К. И., Каёткин В. Е.	Екатеринбург	85
Хомяк Р. О., Швецов Д. А., Брестер А. Е.	Новосибирск	89
Чемичев Д. Г., Швецов Д. А., Жуков В. И.	Новосибирск	92
Шадрина А. А.	Новосибирск	95
Шахворостова Е. Ю., Авдеев Е. А., Старосветский А. В.	Новосибирск	98
Швабауэр А. И., Швецов Д. А., Михайлов А. В.	Новосибирск	101
Яковлева А. М., Головахин В. В., Баннов А. Г.	Новосибирск	105

**Секция АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ; НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ТЕХНОЛОГИИ**

Агафонов М. Ю., Миллер А. А., Хабилов Р. Р.	Новосибирск	110
Александрова Н. С.	Новосибирск	113
Антропова К. А., Наседкин Д. А.	Новосибирск	116
Афимченко Н. А.	Новосибирск	120
Демакова Т. Д., В. Г. Пономарева	Новосибирск	124
Есиков Е. Д.	Новосибирск	126
Жуковская С. А., Антропова К. А.	Новосибирск	129
Измоденова А. В., Улихин А. С.	Новосибирск	132
Козлова М. А., Макарова С. В.	Новосибирск	134
Макарова С. В., Козлова М. А., Бородулина И. А.	Новосибирск	139

Котов Д. И.	Новосибирск	144
Насенник И. Е.	Новосибирск	148
Ниговий А. С.	Новосибирск	150
Овчинников Ф. Р.	Новосибирск	152
Осипов А. А., Бардин В. А.	Новосибирск	154
Станкевич С. В.	Новосибирск	157
Чепелева Е. В.	Новосибирск	161
Беляева Е. С., Ногачева Э. Р.	Самара	163
Богомолова А. К.,	Новосибирск	166
Гусельникова Т. Я.		
Дударева А. А.	Новосибирск	169
Кузьменко Е. Д.	Томск	172
Лапкина М. Ю., Ягрушкина И. Н.	Самара	174
Морозова М. Е., Польских Д. А.,	Новосибирск	179
Соловьева М. И.		
Петряева Т. Н., Сыч Е. И.	Самара	181
Побеленская Д. В., Гапич Д. И.,	Новосибирск	184
Кузнецов В. А.		
Ресентов И. Е., Никулина А. А.	Новосибирск	186
Рубилкин П. А., Улихин А. С.,	Новосибирск	188
Уваров Н. Ф.		
Селезнева Д. А.	Новосибирск	191
Хабиров Р. Р., Миллер А. А.,	Новосибирск	193
Агафонов М. Ю.		
Шефер М. И., Неделько А.В.	Новосибирск	197
Щербинина С. Ю., Дударева А. А.	Новосибирск	200
Юргин А. Б.	Новосибирск	204
Саяров Д. Р., Чернова В. В.,	Уфа	206
Псянчин А. А.		

Секция ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ
МАТЕРИАЛОВ

Войлошникова Д. В.	Новосибирск	208
Гринь А. В.	Новосибирск	211
Доброва Д. С.	Новосибирск	213
Зозуля Е. А.	Новосибирск	216
Кияшев И. А.	Новосибирск	218
Егорова Ю. А.	Новосибирск	223
Койнова С. В.	Новосибирск	225
Крайнова П. А.	Новосибирск	226

Кривенко М. А.	Новосибирск	228
Ларионова В. В.	Новосибирск	231
Плотников Д. Ю.	Новосибирск	233
Поморцева Н. В.	Новосибирск	235
Прудникова М. В.	Новосибирск	238
Разумов С. Е.	Новосибирск	241
Сергеева А. А.	Новосибирск	244
Складнюк А. М.	Новосибирск	246
Степашкина Д. Р.	Новосибирск	249
Стоякина Е. А.	Новосибирск	252
Ужан В. В.	Новосибирск	254
Федорова С. М.	Новосибирск	258
Фоменко Е.О.	Новосибирск	260
Шамарова Т. Д.	Новосибирск	264
Шуверова А. Е.	Новосибирск	266

**Секция АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**

Зеар Аунг, Шидловский С. В., Ну Ну Вар	Томск, Сагаинг	271
Зеар Аунг, Шидловский С. В., Ну Ну Вар	Томск, Сагаинг	275
Мьо Хтет Аунг	Новосибирск	279
Васильев М. Ю., Разуваев И. М.	Новосибирск	281
Верхушин Д. А., Гуляева Д. С.	Новосибирск	283
Гладков Л. М., Иванов М. Г.	Новосибирск	287
Горюнов В.С. Глоба Е.	Новосибирск	290
Гуляева Д. С., Верхушин Д. А., Курдюмов Д. С.	Новосибирск	295
Зеленина А. В.	Новосибирск	299
Зеленских С. А.	Новосибирск	302
Зыбин Д. Н.	Новосибирск	307
Иванов М. Г., Гладков Л. М.	Новосибирск	312
Стрепков Б. А		
Иванова А. В.	Новосибирск	315
Калинин Д. А.	Новосибирск	318
Колганов К. А.	Новосибирск	320
Ли Хаопэн	Новосибирск	323
Лу Чао	Новосибирск	325
Москвитин А.А.	Новосибирск	327

Реброва С. А., Хорохордин Г.С.	Новосибирск	331
Садчиков К.П.	Новосибирск	334
Стрепков Б.А.	Новосибирск	337
Чжан Тун	Новосибирск	340

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭНЕРГЕТИКА

Секция СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Архипова М. С., Дулов И. В.	Новосибирск	343
Большаков Д. А., Зырянов В. М.	Новосибирск	348
Герцев Д. В.	Новосибирск	352
Герцог Р. И., Русина А. Г.	Новосибирск	356
Горшунов А. А.	Новосибирск	360
Гудкова В. К., Дулина К. В., Дрыгин В. В.	Новосибирск	363
Гудыма С. С., Насибова Е. М.	Новосибирск	368
Дулина К. В., Насибова Е. М.	Новосибирск	373
Дурновцева П. В., Кабиров А. А., Щапова Ю. О.	Новосибирск	377
Заремба Д. В., Зеленских А. А.	Новосибирск	382
Кудаева Е. С., Казакова С. Ю., Лазарев Д. В.	Новосибирск	386
Комписенко А. А.	Новосибирск	390
Костеренко П. Д.	Новосибирск	394
Кузенко И. В.	Новосибирск	398
Одинабеков М. З.	Новосибирск	402
Петров А. П., Носихин К. А., Махновская Д. В.	Омск	407
Петров А. П., Джетегенов Т. Р., Рягузов А. Е.	Омск	411
Плохотниченко Н. С., Акимова У. А.	Новосибирск	415
Плохотниченко Н. С., Акимова У. А., Клименко А. А.	Новосибирск	419
Поляченко Ю. А., Шлегель К. В., Лазарев Д. В.	Новосибирск	423
Старостин А. Ю., Зарипов Р. А., Большаков Д. А.	Новосибирск	427
Чашин В. Е.	Новосибирск	432

**Секция РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА,
ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Ведерников Д. С.	Новосибирск	437
Коряко Д. Е., Мюльбаер А. А.	Новосибирск	441
Николаев И. Д.	Новосибирск	445
Петров Г. Ю.	Новосибирск	450
Шанова А. Е., Мюльбаер А. А.	Новосибирск	453
Юшкевич П. Д.	Новосибирск	457
Сэкан А. А.	Новосибирск	461
Пехота Д. А.	Новосибирск	466

Секция ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Баканов М. С. Семис-оол А. Г.	Новосибирск	470
Грицив Г. И.	Новосибирск	474
Дьяченко Л.Е., Боруш О. В.	Новосибирск	477
Живоглазова Ю. В.	Барнаул	481
Скляр Ф. Н.	Барнаул	489
Тамаренко А. П., Таценко М. Е.	Новосибирск	494
Таценко М. Е., Тамаренко А. П.	Новосибирск	497
Ульянов П. Ю.	Новосибирск	499

**Секция МЕНЕДЖМЕНТ В ЭНЕРГЕТИКЕ
И В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ**

Барановский Д. Д.	Новосибирск	503
Бухтиярова К. В.	Новосибирск	507
Гапон А. В.	Новосибирск	511
Денисова А. Д.	Новосибирск	514
Захаренков И. В.	Новосибирск	516
Каменская Е. С.	Новосибирск	520
Карпова В. О.	Ханты-Мансийск	523
Кашин А. А.	Новосибирск	529
Клименко А. А., Крылова Е. В.	Новосибирск	533
Кудаева Е. С., Кузнецов А. О., Крылова Е. В.	Новосибирск	536
Кузнецов А. О., Крылова Е. В.	Новосибирск	540
Марченко Е. Е., Семакина Г. А.	Новосибирск	542
Николаева Э. Р.	Новосибирск	545

Плеханова В. Е.	Ханты-Мансийск	548
Полежаев Д. А., Семакина Г. А.	Новосибирск	553
Поляченко Ю. А.	Новосибирск	557
Преображенская Д. А.	Новосибирск	562
Родионов Н. Д.	Новосибирск	565
Сычева Т. А.	Новосибирск	570
Тетерина О. И.	Новосибирск	576
Тюленев В. А.	Владимир	581
Чаплыгина Д. А.	Новосибирск	584
Черникова Е. В.	Новосибирск	588
Шлегель К. В.	Новосибирск	593

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ
Сборник научных трудов в 9 частях

г. Новосибирск, 08 декабря - 12 декабря 2025 г.

Часть 2

Под редакцией Захаровой Е. В.

Подписано в печать 10.02.2026. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 35,10. Печ. л. 37,75. Тираж 10 экз. Заказ №Р-05098

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20