

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Новосибирск
2020

Всероссийская научная
конференция молодых ученых

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник
научных трудов

Часть 5

г. Новосибирск, 30 ноября-04 декабря 2020 г.

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, 30 ноября-04 декабря 2020 г.
в 9-и частях**

Часть 5

НОВОСИБИРСК
2020

УДК 62(063)
ББК 72.5я431
Н34

Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ //Сборник научных трудов в 9 ч. / под ред. Гадюкиной А.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020.

ISBN 978-5-7782-4288-3

Часть 5: – 215 с.

ISBN 978-5-7782-4293-7

В сборнике публикуются материалы по научным направлениям:
«Электротехника, электромеханика и электротехнологии»

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета:

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

Зам. председателя Оргкомитета:

Брованов С.В., д.т.н., доцент, проректор по научной работе 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.т.н., доцент, декан АВТФ

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

Саленко С.Д., д.т.н., профессор, декан ФЛА

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

Аманжолова Б.А. д.э.н., профессор, декан ФБ

Хрусталева В.А., д.т.н., профессор, декан РЭФ

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

Тюрин А.Г., к.т.н. доцент, декан МТФ

Белоглазов А.В., к.т.н. доцент, декан ФЭН

УДК 62(063)
ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-4293-7 (Ч.5)
ISBN 978-5-7782-4288-3

© Коллектив авторов, 2020
© Новосибирский государственный
технический университет, 2020

**НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭЛЕКТРОТЕХНИКА,
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

**Секция ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
И СИСТЕМЫ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ
СИНТЕЗЕ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ МОЛИБДЕН, УГЛЕРОД,
АЗОТ БЕЗВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ**

Ю.З. Васильева, П.Н. Кононенко, А.Я. Пак
Томский политехнический университет,
г. Томск, yzv1@tpu.ru

В данной работе представлены результаты по получению материалов системы молибден, углерод и азот безвакуумным методом в плазме постоянного тока, которые согласно литературным данным могут быть применимы в качестве катализаторов в реакциях получения водорода из воды. Проведены экспериментальные исследования на двух разработанных электродуговых реакторах и выполнен анализ полученных энергетических характеристик.

This work presents the results on the synthesis of materials of the molybdenum, carbon and nitrogen system by the vacuumless DC arc plasma method. According to the literature data, such materials can be used as catalysts in hydrogen production from water. The experiments were carried out using two developed electric arc setups, and then the obtained energy characteristics were analyzed.

На сегодняшний день широко развиваются направления в энергетике, связанные со способами получения энергии из возобновляемых источников, ввиду истощения природных ресурсов и возможности снижения вредного воздействия на окружающую среду. Таким направлением является водородная энергетика [1]. Один из способов получения водорода - электролиз, в котором в качестве катализатора обычно используется платина [2]. Однако по причинам её дороговизны и редкости необходим поиск альтернативных катализаторов, какими могут быть материалы системы молибден, углерод, азот [3]. Поскольку они имеют схожую электронную структуру с металлами платиновой группы и обладают высокой каталитической активностью [4]. Существуют множество способов получения подобных материалов, в том числе и электродуговые. В данном исследовании применяется безвакуумный электродуговой метод, который основан на генерации электрического разряда постоянного тока дугового типа в открытом воздухе [5].

В работе представлены результаты сравнительного анализа энергетических характеристик, полученных при использовании разных схем нагрева исходных компонентов безвакуумным электродуговым методом при синтезе материалов системы молибден, углерод и азот.

Экспериментальные исследования проводились на авторских электродуговых реакторах с вертикальной [6] и горизонтальной [7] системой расположения электродов. Дуговой разряд возникал между графитовыми электродами, которые подключались к источнику постоянного тока. Исходным материалом послужила смесь из порошков графита, молибдена и меламина в массовом соотношении 2:1:1, соответственно. Сила тока на источнике питания была настроена на 120 А. Данные тока разрядного контура и напряжения на электродах фиксировались двухканальным осциллографом *Rigol DS1052E* при помощи датчика тока *Honeywell CSLA2DJ* и делителя напряжения (10:1). Затем полученные данные были проанализированы с использованием известных методик.

На рисунке 1 показаны осциллограммы напряжения и тока при вертикальной и горизонтальной системах электродов. Сравнение их энергетических характеристик отражено в таблице 1.

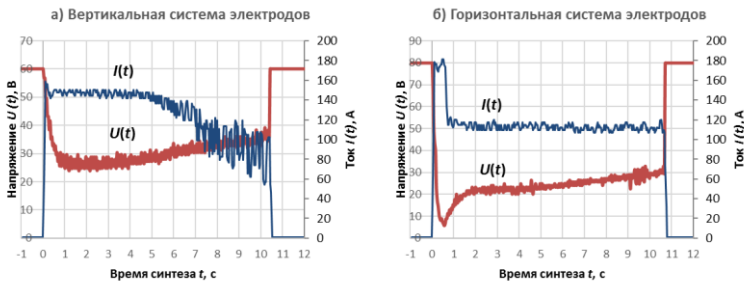


Рис. 1 – Осциллограммы напряжения и тока при вертикальной (а) и горизонтальной (б) системах электродов

Таблица 1 – Сравнение энергетических характеристик

Система	$U_{ин}, В$	$I_{дуги}, А$	$U_{дуги}, В$	$P_{ср}, кВт$	$W, кДж$
Вертикальная	24	125 ± 10	30 ± 5	3,7	41,1
Горизонтальная	7	117 ± 5	25 ± 5	2,7	29,5

Как видно из рисунка 1, при использовании разных систем электродов ход кривых напряжения и тока незначительно отличается, тем не менее, на осциллограммах можно выделить две основные стадии процесса: 1 – инициирование разряда и 2 – горение дугового разряда.

При вертикальной системе электродов, разряд проходит непосредственно через исходную смесь графита, молибдена и меламина, осу-

ществляя её прямой нагрев. В данном случае напряжение инициирования разряда составило $U_{ин.} \sim 21$ В. При горизонтальной системе электродов нагрев исходных материалов осуществляется косвенно. В рассматриваемом эксперименте горение дугового разряда происходит на расстоянии 9 мм от исходной смеси. При такой системе электродов напряжение в начальный момент времени ниже ($U_{ин} \sim 7$ В), поскольку сопротивление разрядного промежутка при контакте графит-графит в момент касания электродов меньше, чем сопротивление при контакте графит-исходная смесь.

После формирования разрядного промежутка ($t > 2$ с) на дуговой стадии средние величины напряжения на электродах и тока в разрядном контуре определены как, $\sim 30 \pm 5$ В и $\sim 125 \pm 10$ А для вертикальной и $\sim 25 \pm 5$ В и $\sim 117 \pm 5$ А для горизонтальной систем электродов, соответственно.

Время отдельного эксперимента, включающее стадии инициирования и горения дугового разряда, составило $10,5 \pm 0,2$ с. При этом, средние значения мощности, полученные перемножением массивов напряжения и тока, составили 3,7 кВт и 2,7 кВт. Их последующим интегрированием по времени найдены величины подведенной энергии. Определено, что в случае прямого нагрева количество подведенной к системе энергии больше и равно $W \sim 41,1$ кДж, тогда как, при косвенной системе нагрева – $W \sim 29,5$ кДж.

Различия полученных кривых можно также объяснить тем, что для разных систем электродов использовались различные источники тока: для вертикальной – *Colt Condor 200*, для горизонтальной – *Fubar IR 200*. Данные аппараты незначительно отличаются по параметрам, в том числе по напряжению холостого хода, что можно заметить по осциллограммам $U_{ХХ} = 60$ В (рисунок 1, а) и 80 В (рисунок 1,б).

Таким образом, в работе был выполнен сравнительный анализ энергетических характеристик, таких как напряжение на электродах, ток в разрядном контуре, средняя мощность и количество подведенной энергии, при использовании вертикальной и горизонтальной систем электродов при синтезе материалов системы молибден, углерод, азот безвакуумным электродуговым методом. Полученный материал может быть использован в качестве катализатора для получения водорода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90088.

Литература:

1. Hydrogen production from formic acid over morphology-controllable molybdenum carbide catalysts / J. Cao, J. Wang, Yu. Ma, X. Li,

P. Xiaokaiti, X. Hao, A. Abudula, G. Guan // Journal of Alloys and Compounds. – 2018. – Vol. 735. – P. 1463–1471.

2. Carbon-coated molybdenum carbide nanosheets derived from molybdenum disulfide for hydrogen evolution reaction / Yu. Huang, Ch. Wang, H. Song, Ya. Bao, X. Lei // International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – Vol. 43, iss. 28. – P. 12610-12617.

3. N-Doped porous molybdenum carbide nanobelts as efficient catalysts for hydrogen evolution reaction / Sh. Jing, L. Zhang, L. Luo, J. Lu, Sh. Yin, P.K. Shen, T. Panagiotis. // Applied Catalysis B: Environmental. –2018. – Vol. 224. – P. 533-540.

4. N-Doped graphene-coated molybdenum carbide nanoparticles as highly efficient electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction / X. Yang, X. Feng, H. Tan, H. Zang, X. Wang, Yo. Wang, E. Wanga, Ya. Li // Journal of Materials Chemistry A. – 2016. – Vol.4, iss. 10. – P. 3947-3954.

5. Пак А.Я., Васильева Ю.З. Синтез заполненных карбидом вольфрама многостенных углеродных нанотрубок в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока // Российские нанотехнологии. – 2019. – Т. 14, №. 11-12. – С. 23-27.

6. Пак А.Я., Кононенко П.Н. Электродуговой синтез материала на основе графита и карбида молибдена // Российские нанотехнологии. – 2019. – Т. 14, № 11–12. – С. 44–48.

7. Патент, Российская Федерация. Устройство для получения порошка на основе карбида бора / Р.С. Мартынов, А.Я. Пак, Г.Я. Мамонтов. – № 2019111857/19; заявл. 19.04.2019; опубл. 10.09.2019, Бюл. № 26.

МЕТОД КАСКАДНЫХ СХЕМ ДЛЯ РАСЧЕТА ИМПЕДАНСА ПАКЕТА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ШИН РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

И. Г. Гвоздков, Л.П. Горева

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

Пакеты прямоугольных шин используются на одном из участков короткой сети руднотермических печей малой и средней мощности. Активное и реактивное сопротивление короткой сети оказывают решающее влияние на электрические характеристики руднотермической печи. Для сравнения вариантов конструкции необходим доступный метод расчета, не требующий высокой квалификации расчетчика и специализированного программного обеспечения. В статье показано, что таким является метод каскадных схем.

Rectangular bus packages are used in one section of a short network of ore-thermal furnaces of low and middle power. The active and reactive resistances of the short network have a decisive influence on the electrical characteristics of the ore-thermal furnace. To compare the design options, an accessible calculation method is needed that does not require a high qualification of the calculator and specialized software. The article shows that the method of cascade schemes is one such method.

Жесткий неподвижный шихтованный пакет является самой длинной частью короткой сети руднотермической печи (РТП) (рисунок 1). Он выполняется в виде пакета медных прямоугольных шин или трубошин.

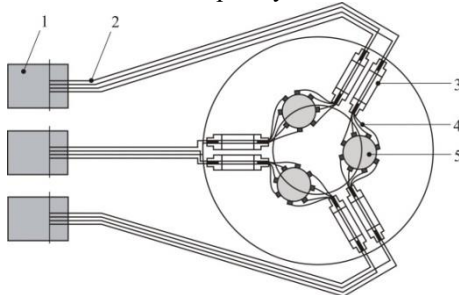


Рис. 1 – Схема вторичного токоподвода круглой РТП [1]:
1 - трансформатор; 2 - шихтованный пакет; 3 – гибкий токоподвод;
4 – токоввод электрода; 5 – электрод.

Плотность тока в жестком неподвижном пакете выбирается исходя из теплового режима. Исходя из правил устройства электроустановок температура шин не должна превышать 90°C . В связи с этим допустимая плотность тока составляет: для медных шин от 1.1 до $1.4 \text{ A}/\text{мм}^2$. В связи с этим, высокие токи, протекающие в токопроводах РТП, невозможно провести по одному проводнику, поэтому каждую фазу расщепляют на несколько параллельных проводников [1].

Для снижения индуктивного сопротивления шины с токами противоположных направлений должны быть максимально близко расположены друг к другу, поэтому их чередуют в пакете, при этом расстояние между шинами не должно быть меньше 27 мм по условиям электроизоляции и эффективности теплообмена естественной конвекцией.

Общее число шин в бифилярном пакете не превышает 16 . Размеры поперечного сечения медных шин обычно не превышают $400 \times 12 \text{ мм}$. Толщина медных шин $10 - 12 \text{ мм}$ является оптимальной по условиям поверхностного эффекта, высота 400 мм является максимальной по условиям охлаждения пакета шин. Исходя из вышеперечисленных условий, шинный пакет можно выполнить на ток до $30 - 40 \text{ кА}$ [1].

Метод каскадных схем [2], разработанный на кафедре «Теоретических основ электротехники НГТУ», позволяет найти импеданс и внутреннее сопротивление всех шин шихтованного пакета короткой сети. Метод применим только к шинам с прямоугольным сечением.

При решении задач методом каскадных схем допускается, что $c \gg b$, $c \gg t$ (рисунок 2, а) и длина шин неограниченно велика. Шины изготовлены из немагнитного материала, удельная электрическая проводимость которого постоянна.

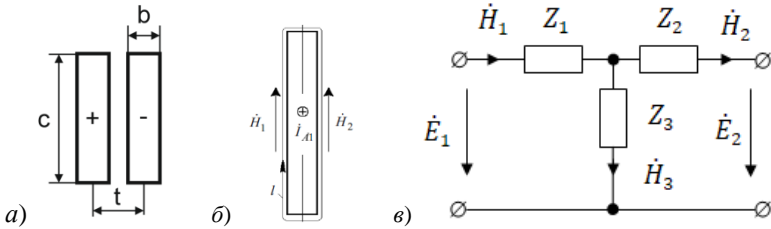


Рис. 2 – К методу каскадных схем: а – геометрия шин; б – напряженность на поверхности шины, в – Т – образное звено.

Пусть на левой поверхности некоторой шины магнитная напряженность равна \dot{H}_1 , а на правой поверхности – \dot{H}_2 (рисунок 2, б). Тогда циркуляция вектора магнитной напряженности по замкнутому контуру l , охватывающему эту шину, в соответствии с законом полного тока равна току в шине:

$$\oint_l \dot{H} dl = c\dot{H}_1 - c\dot{H}_2 = i_{Ai}$$

На каскадной Е – Н – схеме каждой шине соответствует Т – образное звено (рисунок 2, в), для которого справедливо уравнение по первому закону Кирхгофа: $\dot{H}_1 - \dot{H}_2 = \dot{H}_3$.

В данном методе сопротивления определяются следующим образом: для воздушных зазоров - $Z_{\Delta} = j\omega\mu_0(t-b)$; продольные и поперечные сопротивления для токопроводящих шин - $Z_1 = Z_2 = \frac{p}{\gamma} th \frac{pb}{2}$, $Z_3 = \frac{p}{\gamma shpb}$, где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, $\omega = 2\pi f$ – угловая частота тока, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ – магнитная постоянная, f – частота тока, $p = j\omega\sqrt{\mu\gamma}$ – коэффициент распределения поля.

Соответствующие сопротивления всех четырехполюсников равны, так как все параметры шин равны (c , b , t). И за пределами линии, и между фазами магнитная напряженность равна нулю, поэтому входные за-

жимы крайнего левого четырёхполюсника и выходные зажимы крайнего правого четырёхполюсника обесточены.

Источник \dot{H}_0 представляет собой: $\dot{H}_0 = \frac{jA}{c}$.

В соответствие с каскадной схемой замещения по законам Кирхгофа составляется система линейных уравнений. Матрица системы является симметричной и линейчатой. В результате решения определяются реальные магнитные напряженности в контурах схемы, а по ним – напряжение и ток на пакете шин. По закону Ома можно определить импеданс пакета шин в комплексной форме. По нему можно определить активное и индуктивное сопротивления пакета шин.

На рисунке 3 приведены расчетные зависимости индуктивного и активного сопротивлений пакета из 8 шин (по 4 на полуфазу) от высоты шин c , полученные разными методами: методом обобщающих выражений, методом каскадных схем и методом численного моделирования с применением специального ПО ANSYS.

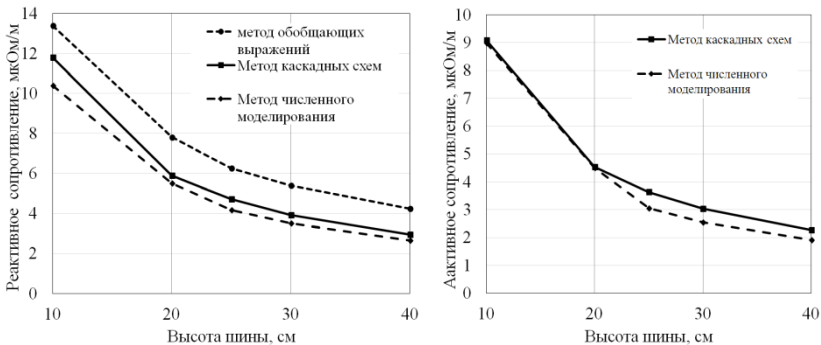


Рис. 3 – Зависимость индуктивного (а) активного (б) сопротивлений от высоты шины для жесткого пакета из 8 шин

Метод обобщающих выражений, как и метод каскадных схем, является аналитическим и не требует высокой квалификации расчетчика и специализированного ПО, но он позволяет рассчитать только индуктивное сопротивление пакета шин. В отличие от метода обобщающих выражений метод каскадных схем можно применить при расчетах разных вариантов перешихтовок. Метод численного моделирования требует специализированного, дорогостоящего ПО и навыков работы с ним. Полученные результаты говорят о том, что метод каскадных схем с имеющимися допущениями дает результаты близкие к результатам численного моделирования, при котором учитываются все электромагнитные явления в шинном пакете.

Таким образом, метод каскадных схем удобно использовать при проектных расчетах пакетов шин коротких сетей для сравнения различных конструктивных решений. Для этого достаточно использовать широко распространенное ПО, например *Mathcad*.

Литература:

1. Данцис Я. Б. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей. Справ. изд./ Я. Б. Данцис, Л. С. Кацевич, Г. М. Жилов и др./ 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgy, 1987. – 320 с.
2. Инкин А. И., Алиферов А. И., Бланк А. В. Специальные главы электротехники. Электротепловые поля и аналитические расчеты параметров проводников в установках электронагрева: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 156 с.

РАЗРАБОТКА СЕКЦИИ ПРЕДУСКОРИТЕЛЯ-ГРУППИРОВАТЕЛЯ ДЛЯ НЕРЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЧКА

К. А. Гришина^{1,2}

Новосибирский государственный технический университет¹,
Институт ядерной физики им. Будкера СО РАН²,
г. Новосибирск, grishinakristina21@gmail.com

Для многих приложений, связанных с линейными СВЧ ускорителями, является актуальной задачей захват в режим ускорения непрерывного нерелятивистского пучка, который поступает из источника электронов. В этом случае необходимо устройство, которое позволит преобразовать непрерывный пучок в отдельные сгустки с частотой последующих ускоряющих структур и увеличить их энергию до релятивистских значений. Такой пучок можно инжектировать в регулярные ускоряющие структуры с высоким коэффициентом захвата в режим ускорения.

For many applications associated with linear acceleration microwave devices, is the acceleration of the acceleration of a continuous nonrelativistic beam that comes from an electron source. In this case, a device is needed that allows converting a continuous beam into bunches from accelerating structures and increasing their energy to relativistic values. Such a beam can be injected into regular accelerating structures with a high capture coefficient in the acceleration mode.

Линейные ускорители состоят из пушек, из которых инжектируются частицы и ускоряющих секций. На входе в каждую ускоряющую структуру есть градиент электрического поля и чем меньше энергия пучка на влете в секцию, тем более сильное влияние на него оказывают краевые эффекты. Если на выходе из пушки частицы имеют энергию 10 - 15 кэВ

и попадают в ускоряющую секцию, то они испытают сильную фокусировку.

Для того, чтобы минимизировать действие краевых эффектов, кулоновских полей, обеспечить равенство скоростей частиц и фазовой скорости волны в регулярной ускоряющей структуре и захватить наибольшее число частиц необходимо, чтобы пучок на влете имел энергию ≥ 1 МэВ. А для того, чтобы пучок набирал оптимальную энергию, он должен представлять собой набор сгустков, которые следуют друг за другом с частотой $f = 2856$ МГц или периодом $T = 350$ пс. Эти условия можно реализовать, например, в структуре, которая из непрерывного пучка с энергией 15 кэВ сформирует набор сгустков с частотой = 2856 МГц и энергией ≥ 1 МэВ. Моя работа заключается в создании такой согласующей секции.

Первый этап: решение системы уравнений, описывающих продольную динамику

$$\frac{d\beta}{dz} = \frac{eE_z(z, \varphi)}{m\gamma^3\beta c^2} \tag{1}$$

$$\frac{d\varphi}{dz} = \frac{\omega}{c\beta}$$

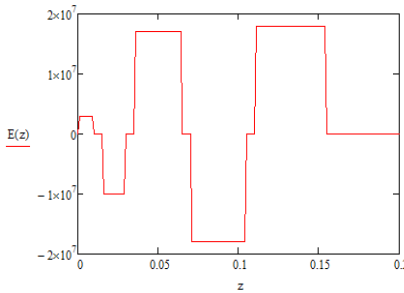


Рис. 1 – График распределения $E_z(z)$ в ускоряющей секции предускорителя - группирователя.

С учетом начальной энергии частиц 15кэВ и результатов моделирования, подбором длин ячеек и их амплитуд ($E_z(z, \varphi)$), получено распределение электрического поля в структуре (рисунок 1). Тестовая секция имеет длину 16 см и максимальную амплитуду поля 18 МВ/м.

Система (1) решена численным методом Рунге-Кутты 4 порядка, и в результате решения системы получены графики зависимости распределения продольной скорости частиц от фазы $\beta(\varphi)$. В начальный момент

скорости всех частиц одинаковы (рисунок 2, а). По мере пролета частиц через секцию, пучок группируется. Группировка пучка происходит за счёт увеличения скоростей одних частиц и уменьшения скоростей других. В результате частицы начинают заворачиваться, формируя сгусток (рисунок 2, б).

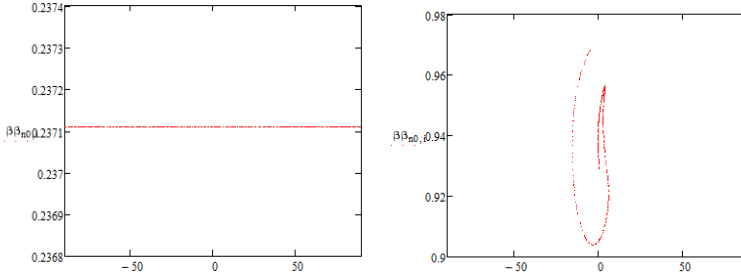


Рис. 2 – График распределения $\beta(\varphi)$:
а - на входе в структуру; б - на выходе из структуры.

Второй этап: расчет продольной динамики в программе Astra с учетом пространственного заряда. Программа Astra предназначена для расчета динамики частиц в электромагнитных аксиально – симметричных полях с учетом кулоновского поля частиц. Для расчёта были заданы: начальная энергия электронов $W_0 = 15$ кэВ, ток $I = 0; 0.3; 1; 1.5$ А, начальное количество частиц $N = 10^5$.

В результате моделирования получены сформированные банчи (рисунок 3) и параметры частиц на выходе: количество частиц, выпавших на стенку, процент захвата частиц равный и кинетическую энергию всех частиц на выходе из группирующей секции. Процент токопрохождения порядка 90%, энергия частиц на выходе порядка 1,1 МэВ.

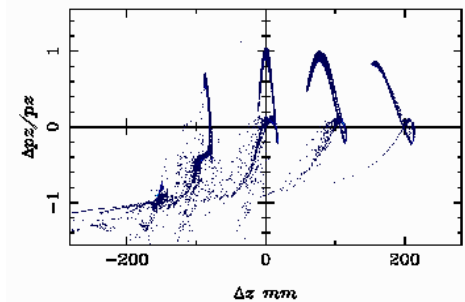


Рис. 3 – График распределения $\frac{\Delta p_z / p_z}{\Delta z}$ при токе $I = 1$ А.

Третий этап: моделирование продольной динамики в программе *CST Studio* с заданной непрерывной эмиссией в течение 1 мкс, с током 0.5 А и начальной энергией 15 кэВ. В результате моделирования получено, что частицы имеют энергию порядка 1МэВ, что согласуется с результатом, полученным в программе *Astra*.

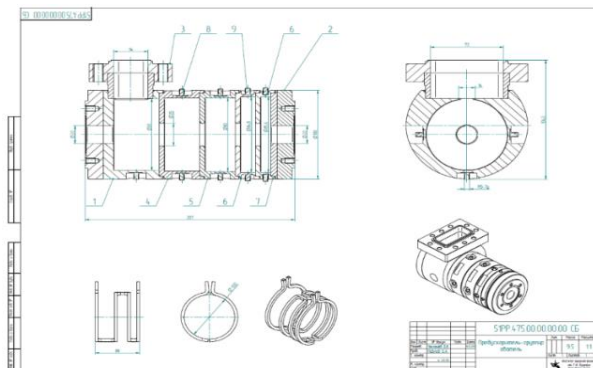


Рис.4 – Чертеж тестовой ускоряющей секции предускорителя-группирователя.

В результате работы разработан чертеж тестовой секции (рисунок 4) и отправлен на производство.

Литература:

1. Левичев А.Е., Павлов В.М. Линейные СВЧ ускорители: электродинамика ускоряющих структур. Учебное пособие//Н.: ИЯФ_НГТУ, 2014. – 158 с.
2. В. М. Павлов. Линейные ускорители. Динамика частиц в линейных ускорителях. Часть II. // Учебное пособие. / Новосиб. ун-т. Новосибирск, 1999, 109 с.
3. Лоусон. Дж. Физика пучков заряженных частиц//М.:«Мир», 1980. – 439 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСКОРЯЮЩИХ СТРУКТУР РАЗНЫХ ТИПОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛИНЕЙНЫХ СВЧ УСКОРИТЕЛЕЙ

Е.В. Дронова, А.Е. Левичев, А.В. Андрианов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dronova.cat@mail.ru**

В представленной работе предложен анализ различных ускоряющих структур относительно их максимального тока и шунтового сопротивления в зависимости от эффективности структуры. Определено, что наиболее оптимальным типом структуры с точки зрения передачи СВЧ мощности в пучок является структура на основе стоячей волны с последовательной связью.

In the presented work, an analysis of various accelerating structures with respect to their maximum current and shunt resistance, depending on the efficiency of the structure, is proposed. It has been determined that the most optimal type of structure from the point of view of microwave power transfer to the beam is a structure based on a standing wave with series communication.

В настоящей работе выполнен анализ основных четырёх типов ускоряющих структур, используемых в линейных ускорителях с точки зрения эффективности передачи СВЧ мощности электронному пучку. Были рассмотрены следующие типы ускоряющих структур: структуры работающие в режиме бегущей волны с постоянным импедансом или постоянным градиентом, а также структуры, работающие в режиме стоячей волны, с последовательной или параллельной связью.

Данный анализ имеет практическую ценность, так как позволяет повысить КПД линейного ускорителя, по такому параметру, как выходная мощность пучка, по отношению к входной мощности источника, с учётом эффективности самой ускоряющей структуры, что немаловажно, когда проектируемая установка должна работать на предельных параметрах.

Для каждого типа ускоряющих структур были получены выражения, характеризующие максимальные ток I_m , энергию U_m и КПД η_m структуры. Так для ускоряющей структуры на основе бегущей волны с постоянным импедансом:

$$I_m = \sqrt{\frac{P_0 \cdot \alpha}{2 \cdot R_{sh}}} \cdot \frac{[1 - \exp(-\tau)]}{\tau - 1 + \exp(-\tau)}, U_m = \sqrt{2P_0 R_{sh} L} \cdot \frac{1 - \exp(-\tau)}{\sqrt{\tau}},$$
$$\eta_m(\tau) = \frac{1}{2} \cdot \frac{[1 - \exp(-\tau)]^2}{\tau - 1 + \exp(-\tau)}$$

Для ускоряющей структуры на основе бегущей волны с постоянным градиентом:

$$I_m = \sqrt{\frac{P_0}{L \cdot R_{sh}} \cdot (1 - e^{-2\tau})} \cdot \frac{1 - e^{-2\tau}}{1 - e^{-2\tau} - 2\tau \cdot e^{-2\tau}}$$

$$U_m = \frac{\sqrt{2P_0 R_{sh} L}}{2} \cdot \sqrt{\frac{1 - e^{-2\tau}}{2}}, \quad \eta_m(\tau) = \frac{[1 - e^{-2\tau}]^2}{2 - 2e^{-2\tau}(1 + 2\tau)}$$

Для ускоряющей структуры на основе стоячей волны с последовательной связью:

$$I_m = \sqrt{\frac{\beta P_0}{R_{sh}}}, \quad U_m(t) = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_{sh}}{\tau_0}} \cdot \sqrt{\tau_H \cdot P_0 \cdot \frac{\beta}{1 + \beta}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_H}}\right)$$

$$\eta_m(t) = \frac{\beta}{1 + \beta} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_H}}\right)$$

Для ускоряющей структуры на основе стоячей волны с параллельной связью:

$$I_m = \sqrt{\frac{P_0}{Z_e \cdot L} \cdot \frac{\beta_1 \cdot \beta_L}{1 + \beta_1}}, \quad U_m = \sqrt{\frac{P_0 \cdot Z_e \cdot L}{(1 + \beta_L)^2} \cdot \frac{\beta_1 \cdot \beta_L}{1 + \beta_1}}$$

$$\eta_m = \frac{\beta_1 \cdot \beta_L}{(1 + \beta_1)(1 + \beta_L)}$$

где P_0 - входная мощность, α - коэффициент затухания по полю, R_{sh} - шунтовое сопротивление, β_1 - коэффициент связи, определяющийся отношением излученной мощности из возбуждающего резонатора в волноводный тракт к мощности потерь в этом резонаторе, β_L - нагруженный коэффициент связи между возбуждающим и возбуждаемыми резонаторами. Подробно о выводе этих формул в [1], [2].

Будем считать, что наиболее часто используемые параметры промышленного ускорителя: мощность генератора $P_0 = 5$ МВт, необходимая энергия пучка $U = 5$ МэВ, нормированное шунтовое сопротивление $R_{sh} = 50$ МОм/м.

Построим графики зависимости эффективного шунтового сопротивления и тока от эффективности структур (Рисунок 1). Зависимости построены для разных параметров: для структур на бегущей волне от параметра τ , который отвечает за связь длины и затухания поля, а для структур на стоячей волне – от параметра β , который отвечает за связь с подводимой в волновод мощностью.

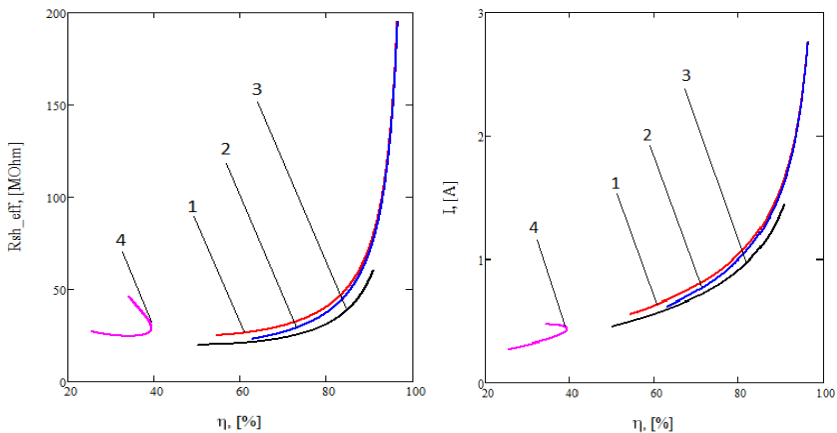


Рис. 1 – Графики сравнения структур:

- 1 – структура на основе бегущей волны с постоянным импедансом,
- 2 – структура на основе бегущей волны с постоянным градиентом,
- 3 – структура на основе стоячей волны с последовательной связью,
- 4 – структура на основе стоячей волны с параллельной связью

Графики показывают, что самые эффективные структуры – структуры на бегущей волне. При этом они требуют самого высокого эффективного шунтового сопротивления. Самая малоэффективная структура – структура на стоячей волне с параллельной связью. Она имеет сложную зависимость шунтового сопротивления от эффективности, обусловленную наличием двойной связи в структуре.

Самые выгодные структуры те, которые достигают максимальную эффективность с минимальным током и шунтовым сопротивлением. К тому же делать ток пучка выше 1 А нецелесообразно по различным причинам: неустойчивости в пучке, сложность получения тока с пушки, начальная энергия пучка и силы расталкивания при ней и пр.

Таким образом, из графиков видно, что самой эффективной является структура на стоячей волне с последовательной связью. Такая структура требует довольно низкого шунтового сопротивления и близка по требуемому току.

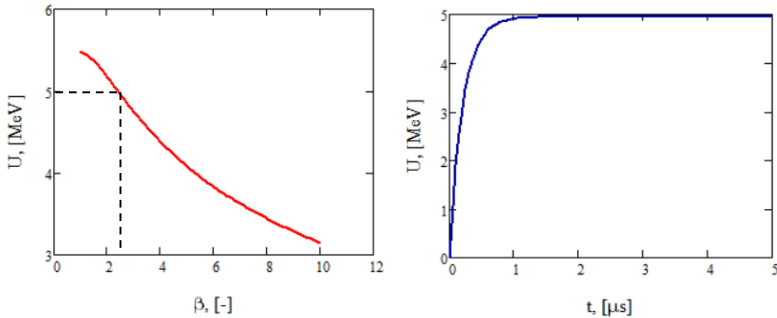


Рис. 2 – Зависимость энергии, набираемой в структуре, от коэффициента связи и график переходного процесса в структуре на стоячей волне с последовательной связью

Подставим параметры, которые часто используются в промышленных ускорителях ИЯФ СО РАН. Для тока $I = 0.7$ А можно получить КПД 70% при эффективном шунтовом сопротивлении $Z_e = 24$ МОм. Для достижения энергии $U = 5$ МэВ, необходим коэффициент связи $\beta = 2.5$. Если взять стандартную добротность для рабочей частоты $f = 2856$ МГц, $Q_0 = 13000$, то переходной процесс завершится примерно за 1 мкс (Рисунок 2).

Если использовать нормированное шунтовое сопротивление $R_{sh} = 50$ МОм/м, то получим длину структуры около $L = 0.5$ м.

А значит, такая структура является действительно оптимальной, несложной в изготовлении и довольно компактной.

Определено, что самой эффективной является структура на стоячей волне с последовательной связью. Также были определены ее параметры по наиболее популярным характеристикам, а именно: $\beta = 2.5$, $U = 5$ МэВ, $f = 2856$ МГц, $Q_0 = 13000$, $I = 0.7$ А, $Z_e = 24$ МОм, $L = 0.5$ м.

Литература:

1. *Левичев А.Е., Павлов В.М.* Линейные СВЧ ускорители, учебное пособие. Редакционно-издательский центр НГУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://accel.inp.nsk.su/refs/Linear_accelerators.pdf
2. *Барняков А.М., Левичев А.Е.* Переходной процесс в ускоряющей структуре с параллельной связью с учетом нагрузки током пучка. Журнал технической физики, 2015, том 85, вып. 1., С. 142-145.

РАЗРАБОТКА ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА КОНЦОВ ТРУБ ДЛЯ СНЯТИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

В.В. Золотарев, М.Д. Беломытцев, А. И. Алиферов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zolotoy200896@yandex.ru

Данный доклад посвящен созданию новой конструкции индуктора и концентратора переменного магнитного поля для термообработки торцов толстостенных труб с равномерным распределением температурного поля при помощи моделирования и определения оптимальных размеров индуктора, что позволит улучшить качество термообработки, а также увеличит время службы трубопроводов.

This report is devoted to the creation of a new design of inductor and concentrator of alternating magnetic field for heat treatment of thick-walled pipe ends with a uniform distribution of the temperature field by modeling and determining the optimal size of the inductor, which will improve the quality of heat treatment, as well as increase the service life of pipelines.

Индукционный нагрев применяется в различных областях: металлургии, машиностроении, строительстве, сельском хозяйстве, нефтяной промышленности, быту. Им обеспечиваются разнообразные технологические процессы: нагрев металлов и сплавов под обработку давлением, различные виды термической обработки металлических изделий различной формы, прочностные испытания деталей машин и т.д. [1].

Одной из особенностей индукционного нагрева является концентрация мощности в определенных зонах. Сегодня он широко применяется в промышленности, где необходимо нагревать только определенные части заготовки, например, конец трубы. Чем более равномерным будет температурное поле при отпуске, тем более однородная будет структура стали. Существующие методы отпуска не могут обеспечить необходимое равномерное температурное поле на этой заготовке.

Для исследования выбран режим нагрева торцевой области трубы с толщиной стенки трубы 16 мм и внешним диаметром 370 мм из стали 40 длиной 300 мм для заданной температуры отпуска $600^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$. В качестве решения данной задачи была предложена конструкция индукционной установки, в которой индуктор имеет ферромагнитный сердечник и неравномерные межвитковые расстояния. Неравномерные межвитковые зазоры позволяют выровнять температурное поле в торцевой части нагреваемой трубы. Модель индукционной установки представлена на рисунке 1.

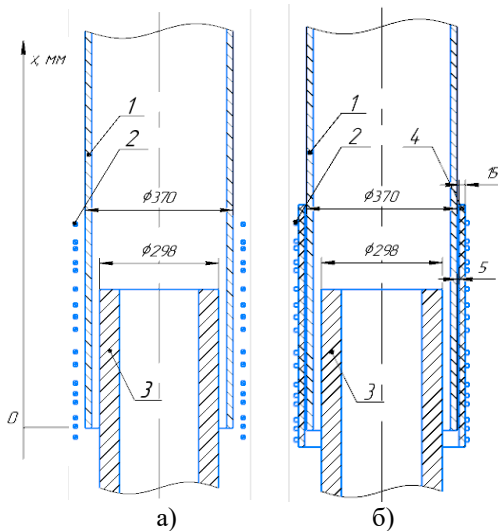


Рисунок 1 – Модель индукционной системы:

а - без теплоизоляции; б - с теплоизоляцией: 1 – нагреваемая труба;
2 – индуктор; 3 – магнитопровод; 4 - теплоизоляция

Разработана программа в ПО ANSYS, решающая взаимосвязанную нелинейную электромагнитную и тепловую задачу для системы «индукционная установка с магнитопроводом – стальная ферромагнитная труба».

На базе созданной модели проведено исследование влияния шага витков, переменного по длине индуктора, конфигурации внутреннего магнитопровода и тепловой изоляции на равномерность температурного поля в концевой части нагреваемой стальной трубы.

В таблице 1 представлены рассматриваемые варианты конструкции индуктора

Таблица 1 – Варианты конструкции индуктора

№ витка	Расстояние x от торца трубы, мм		
	Вариант а $\delta = 31$ мм	Вариант б	Вариант в
1	-35	-25	-25
2	-4	0	0
3	27	28	28
4	58	70	65
6	120	130	125
7	151	175	170

Продолжение таблицы 1

№ витка	Расстояние от торца трубы, мм		
	Вариант а $\delta=31$ мм	Вариант б	Вариант в
8	182	200	195
9	213	245	240
10	244	275	270
11	275	295	295
12	306	320	320
13	337	350	350
14	368	370	370
15	399	400	400
16	430	420	420
17	461	470	470

Полученное распределение температурного поля для разных конструкций индуктора приведено на рисунке 2. В «вариант в» равномерность поля не выходит за границы $\pm 20^\circ\text{C}$ на расстоянии более 300 мм.



Рисунок 2 – Распределение температурного поля для различных конструкций индуктора

Также проведено исследование влияния магнитопровода на равномерность распределения температурного поля в стальной трубе и выбрано положение магнитопровода. Полученное распределение температуры в системе при различных вариантах положения магнитопровода показаны на рисунке 3.

Проведено исследование влияния наличия и материала теплоизоляции на равномерность температурного поля в стальной трубе и показано, что свойства и наличие теплоизоляции влияют только на время

нагрева и не оказывают влияния на равномерность температурного поля нагреваемой трубы, в силу малого времени нагрева $\tau = 200$ с.

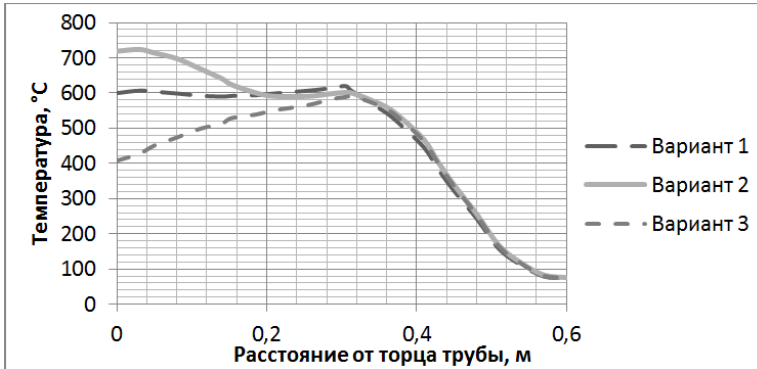


Рисунок 3 – Распределение температуры в системе при конструкции витков Вариант «в» и различных вариантах положениях магнитопровода: Вариант 1 – Магнитопровод углублен на 350мм; Вариант 2 - Магнитопровод углублен на 175 мм; Вариант 3 – магнитопровод отсутствует

Полученные результаты позволяют спроектировать индукционную установку для отпуска концов стальной трубы для снятия в них напряжений. Помимо этого рассматриваемая установка работает на промышленной частоте, это даёт ей следующие преимущества: простота в обслуживании и управлении, отсутствие преобразователей частоты.

Литература:

1. Рапопорт Э.Я., Плишивцева Ю.Э., Оптимальное управление температурными режимами индукционного нагрева.- М.: Наука, 2012. – 309 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ГРАФИТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОДА ДУГОВОЙ ПЕЧИ

С.П. Зуев, В.В. Параско, В.С. Чередниченко
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 7407359@mail.ru

Составлена модель теплового состояния графитированного электрода дуговой печи; рассчитано время выхода электрода с холодного состояния в равновесный режим, определена температура электрода после подвалки шихты.

A model of the thermal state of a graphite electrode of an arc furnace has been compiled; the time of the electrode exit from the cold state to the equilibrium mode was calculated; the temperature of the electrode after the charge was determined.

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП) являются основными электрометаллургическими агрегатами для получения стали из вторичного сырья и предварительно восстановленной окиси железа (металлизированных окатышей). В настоящее время в мире ежегодно производится более 1,8 млрд. т стали, свыше 30% которых при использовании электрометаллургических агрегатов, базирующихся в основном на дуговых сталеплавильных печах (ДСП). В связи с этим большое значение приобретают вопросы повышения эффективности ДСП. Известна работа [1], в которой исследовано тепловое состояние графитированного электрода, но без учета режимов его эксплуатационного охлаждения, которые могут дать информацию при изучении различных процессов, протекающих в рабочем пространстве печи (приэлектродные процессы, гармонический состав тока, тепловое состояние дугового разряда). Поэтому выполняемые исследования являются важным для анализа работы ДСП

В соответствии с технологическим процессом, реализуемым в сверхвысокомощных ДСП, можно выделить три основных тепловых режима применяемых в них графитированных электродов:

- начальный, когда выполняется пуск электропечи после длительного простоя, при этом начальная температура графитированного электрода и температура шихты равна температуре окружающей среды;
- начало плавки в режиме непрерывной работы печи, когда температура рабочего конца графитированного электрода составляет 1000-1500°C, а температура шихты равна температуре окружающей среды;
- начало плавки после подвалки шихты, когда температура рабочего конца графитированного электрода составляет 1500-2000°C, температура шихты равна температуре окружающей среды.

Объектом моделирования является графитированный электрод, параметры которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физические параметры электрода [1]

Параметры	Значения
Высота электрода H , мм	7500
Диаметр электрода $D=2R$, мм	610
Начальная температура электрода,	20
Удельная теплоемкость графита, Дж/(кг К)	2100
Плотность графита, кг/м ³	1700
Коэффициент теплопроводности графита, Вт/(м К)	120

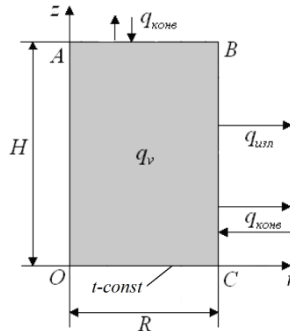


Рис. 1 – Формирование условий однозначности при исследовании температурного поля электрода

На рисунке 1 представлены условия формирования задачи, описывающей тепловое состояние графитированного электрода. В электроде выделяется джоулево тепло равномерно, на боковой поверхности и на верхнем торце электрода нагрев формируется тепловым излучением и конвекцией, на нижнем горячем торце электрода температура равна 3000°С.

Коэффициент теплопроводности электрода считается постоянным.

В основе теплового численного расчета в программном пакете ANSYS лежит метод конечных элементов. При этом значение удельной мощности внутренних источников в электроде рассчитывается по выражению $q_v = 16I_d^2 \rho / (\pi^2 D^4)$, где ρ – удельное электрическое сопротивление материала электрода; I_d – действующее значение тока дуги.

При постановке расчетной модели суммарный теплообмен излучением и конвекцией определялся по закону Ньютона-Рихмана $q_\Sigma = \alpha_\Sigma (t_n - t_{жс})$. Температуры поверхности электрода t_n и среды, окружающей электрод $t_{жс}$. Коэффициент теплоотдачи α_Σ определяется по формуле, которая учитывает свободную конвекцию газа печной атмосферы и излучение с поверхности электрода [3]:

$$\alpha_\kappa = \frac{4,54 \left[\left(\frac{t(R, z)}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{жс}}{100} \right)^4 \right]}{t(R, z) - t_{жс}} + 2,56 \cdot \sqrt{t(R, z) - t_{жс}} .$$

В модели учитывается, нагрев электрода в месте контакта от щетки электрододержателя. Температура в области контакта принята 150°С.

Решение разработанных математических моделей выполнялось в программном комплексе ANSYS.

В результате проведенного моделирования нагрева, установлено, что электрод после длительного простоя печи нагревается до установившегося теплового состояния за 70 часов непрерывной работы печи.

В режиме остановки печи и ее завалки, когда электроды со сводом отворачиваются в свободное пространство цеха, рабочий конец электрода охлаждается и его температура принимает следующие значения от начала охлаждения:

через 10 мин – 2124°C на оси электрода и 2005°C – на его боковой поверхности;

через 12 мин – 2005°C на оси электрода и 1851°C – на боковой поверхности;

через 15 мин – 1851°C на оси электрода и 1837°C – на боковой поверхности.

В результате можно сделать следующие выводы.

1. Разработана программа численного моделирования, позволяющая определять температуру в любой точке электрода в различные моменты времени.
2. По результатам моделирования выявлено, что от холодного состояния до установившегося теплового режима электрод нагревается 70 часов, т.е. в эксплуатационном режиме температурное поле электрода изменяется циклически, достигая некоторого квазистационарного теплового режима.
3. Полученные значения температуры горячего торца электрода, показывают, что в процессе работы печи его температура изменяется в широких пределах (при пуске печи из холодного состояния от 20°C до 3000°C, в процессе циклического квазистационарного режима изменяется от 1850...2100°C до 3000°C), определяя режим приэлектродных процессов дугового разряда у поверхности электрода. Результаты решения поставленной тепловой задачи позволяют построить зависимость приэлектродного падения напряжения от температуры рабочего конца электрода – воль-температурные характеристики дуги, характер изменения которых позволяет идентифицировать стадии процесса расплавления шихты.

Литература:

1. *Мохов В.А., Ячиков И.М.* Моделирование теплового состояния электрода дуговой печи с учетом испарительного охлаждения / Электрометаллургия, 2012. №11 С. 35-41.

2. Зуев С.П., Бикеев Р.А., Чередниченко В.С. Низкочастотные составляющие токов в дуговых сталеплавильных электропечах // Наука. Технология. Инновации: сборник научных трудов в 9 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – Ч. 5. – С. 39-43.

3. Электротехнологические установки и системы. Теплопередача в электротехнологии. Упражнения и задачи : учеб. пособие для вузов / под ред. В. С. Чередниченко, А. И. Алиферова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 570 с.

ДВУМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

М. Колмакова, Т.П. Козулина, К.Ю. Блинов

**Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),
г. Санкт-Петербург, marina.kolmakova.1998@mail.ru**

В данной работе представлены результаты численного моделирования процесса индукционного нагрева цилиндрической стальной трубы из композитного материала в трехвитковом индукторе цилиндрической формы. В ходе электротепловых расчетов были выявлены оптимальные параметры индукционной системы для нагрева трубы до температуры 400-450 градусов в месте стыковки двух материалов композитной заготовки при различных частотах.

This paper presents the results of numerical simulation of the induction heating process of a cylindrical steel pipe made from composite material in a three-wind cylindrical inductor. In the course of electrothermal calculations, the optimal parameters of the induction system for heating pipes to a temperature of 400-450 °C were identified at the junction of two materials of the composite workpiece at different frequencies.

Многие композитные материалы превосходят традиционные материалы и сплавы по своим механическим свойствам. Они состоят из слоев с различной структурой. Наиболее часто встречающаяся структура - это матрица и наполнитель. Разнородные физические и химические свойства слоев в сочетании друг с другом позволяют получать новый вид материала, отличный по физическим и химическим свойствам от характеристик составляющих его элементов. Таким образом можно получить бесконечное разнообразие новых материалов с определенными свойствами и характеристиками.

Яркий пример – композитные трубы. Они изготавливаются из нескольких материалов, в результате чего получается изделие с новыми

свойствами. Сфера применения композитных труб достаточно широка: ЖКХ (отопление, канализация, водоснабжение), транспортировка нефти и нефтепродуктов, газовая промышленность, использование в кондиционировании и вентиляции. Широкая сфера применения обусловлена достоинствами композитных материалов:

- 1) устойчивость к агрессивным средам, что значительно увеличивает сроки эксплуатации, снижает затраты на обслуживание и эксплуатацию;
- 2) высокая прочность, которая позволяет выдерживать механическое воздействие без потери эксплуатационных характеристик и обуславливает долговечность – затраты на ремонт существенно снижаются;
- 3) коррозионная устойчивость позволяет прокладывать трубы даже в кислых почвах;
- 4) морозоустойчивость обеспечивает сохранность даже при расположении выше уровня промерзания грунта или ниже глубины залегания грунтовых вод.

Технологический процесс получения композитных материалов является достаточно сложным. На этапе проектирования установки многие параметры должны быть учтены. Самый простой способ сэкономить время и финансы – использовать численное моделирование процесса.

Сложность заключается в необходимости получения требуемых температур в заготовке, поскольку перегрев материалов приведет к снижению качества конечного продукта, а недогрев не даст необходимой связи между обоими материалами.

В рамках исследовательской работы был смоделирован процесс индукционного нагрева для случая, когда стальная труба, покрытая слоем полимерного материала, нагревается в трехвитковом индукторе цилиндрической формы, а также по результатам электромагнитного и теплового расчетов определены оптимальные параметры индукционной системы для достижения требуемого уровня температуры 440-450 °С в месте стыковки двух материалов [1].

Поскольку индукционная система симметрична относительно оси Y, то была разработана только половина данной системы, используя методы, описанные в литературе [2].

Геометрические параметры исследуемой системы представлены на рисунке 1. Трехвитковый индуктор круглой формы имеет следующие параметры:

- радиус внутренний – 18 мм;
- размеры профиля – 15×20 мм;
- толщина стенки – 2 мм.

Параметры заготовки:

- полимерный слой – 2 мм;

- толщина стальной трубы – 3 мм;
- радиус внутренний – 10 мм.

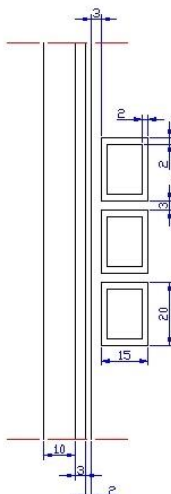


Рис. 1 – Параметры половины индукционной системы для нагрева композитной трубы в трёхвитковом индукторе

Численное моделирование было выполнено в программном пакете *ANSYS* в *2D* проекции, которое дает возможность провести структурный анализ на следующих этапах проектирования.

В ходе электротеплового расчета наблюдалось распределение температуры по стальной заготовке и полимерному покрытию на стыке двух материалов, так как проводился поверхностный нагрев, с целью соединения двух материалов в один. При этом происходило движение трубы сквозь индуктор.

Первоначально нагрев осуществлялся при частоте 5 кГц, во втором случае нагрев происходил при частоте 10 кГц. В обоих случаях подбиралось оптимальное значение тока в индукторе, при котором достигался требуемый уровень температуры 440-450 °С в месте стыковки двух материалов.

Оптимальные значения тока для обоих случаев были выявлены только после проведения ряда расчетов, в результате которых было получено распределение температуры в заготовке:

- при частоте 5 кГц – оптимальный ток в индукторе 6,3 кА;
- при частоте 10 кГц – оптимальный ток в индукторе 5 кА.

Распределение температуры в заготовке представлено на рисунке 2 для нагрева при частоте 5 кГц и токе 6,3 кА, на рисунке 3 – для нагрева при частоте 10 кГц и токе 5 кА.

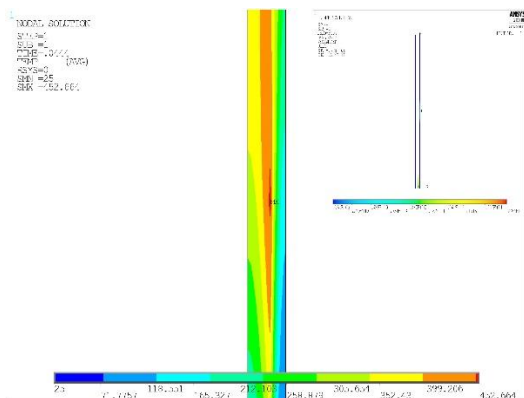


Рис. 2 – Оптимальное распределение температуры в заготовке при частоте 5 кГц и токе 6,3 кА

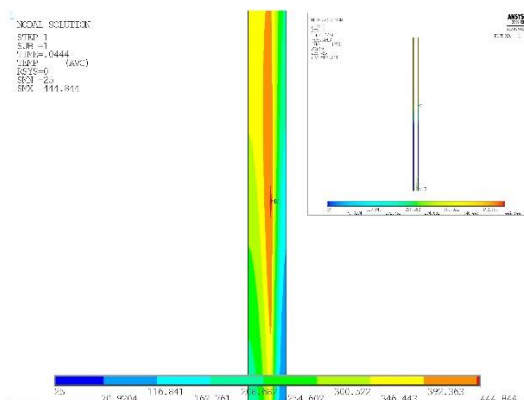


Рис. 3 – Оптимальное распределение температуры в заготовке при частоте 10 кГц и токе 5 кА

Литература:

1. *Blinov K., Galunin S., Blinov Yu.* Numerical modelling of cylindrical composite materials heating in dynamic modes // *Journal of Physics*, 2018. 6 с.
2. *Schlesselmann D., Nacke B., Nikanorov A., Galunin S.* Coupled numerical multiphysics simulation methods in induction surface hardening // 6th

International conference on computational methods for coupled problems in science and engineering, COUPLED PROBLEMS 2015, 18-20 may 2015: Proceedings. – Venice, 2015. – P. 392-403.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СТУПЕНИ ЛИНЕЙНОГО ИМПУЛЬСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

С.С. Кондратьев, В.М. Алексеенко, А.А. Жерлицын
Институт сильноточной электроники СО РАН, г.Томск,
kondratiev@oit.hcei.tsc.ru

Приведены конструкция и результаты исследования стабильности работы на частоте ступени линейного импульсного трансформатора с выходным напряжением 100 кВ. Выполнено 3×10^4 включений с частотой следования импульсов 1–3 Гц. Реализована стабильная работа генератора с джиттером выходного импульса не более 30 нс. Среднеквадратичное отклонение выходной мощности составило менее 6 %. Результаты исследования обосновывают возможность использования ступени в генераторах для электроимпульсных технологий разрушения материалов.

Article is represented design and results of a study of the operation stability at the frequency of the linear pulse transformer with an output voltage of 100 kV. 3×10^4 shots were performed with repetition rate of 1-3 Hz. Stable operation of the stage with an output pulse jitter below 30 ns is implemented. The standard deviation of the output power is less than 6 %. The results of the study substantiate the possibility of using the stage in generators for electric pulse technologies of material destruction.

Основой технологий переработки композитных материалов или изделий является процесс дробления и измельчения. В качестве перспективной альтернативы традиционным механическим методам разрушения рассматривается электроимпульсный (ЭИ) метод дробления, в котором в качестве рабочего инструмента выступает канал разряда, а процесс разрушения осуществляется в водной среде [1, 2]. Критическим элементом ЭИ метода является частотный генератор высоковольтных импульсов для питания разряда, поскольку требования к параметрам такого генератора достаточно серьезные: скорость нарастания импульса напряжения $\sim 10^{12}$ В/с при амплитуде $\sim 10^5$ В, временная постоянная разрядного контура $\sim 10^{-7}$ - 10^{-6} с, частота следования импульсов ~ 1 Гц. Указанным требованиям способны удовлетворить генераторы на основе линейного импульсного трансформатора [3], но для их использования в технологических целях необходимо решать вопрос стабильной длительной работы на частоте.

В данной работе приводятся конструкция и результаты исследования частотной работы ступени линейного трансформатора, предназначенной для использования в прикладных целях.

Конструкция ступени приведена на Рисунке 1. Единичная ступень представляет собой трансформатор с двумя индукторами. Первичный контур имеет по одному витку на каждый индуктор, вторичный контур одним витком охватывает оба индуктора. Первичный контур ступени состоит из емкостного накопителя энергии (1) и управляемого искрового газового разрядника (2). Каждый индуктор содержит пять сердечников (3), намотанных лентой из электротехнической стали ЭТ-3425. Размагничивание сердечников осуществляется от дополнительного генератора, обеспечивающего ток размагничивания амплитудой ~ 1 кА. Разрядник запускается в момент достижения током размагничивания амплитудного значения. Вторичный контур ступени образован внутренним изолированным токопроводом диаметром 76 мм (4) и корпусом ступени. Другой, высоковольтный конец токопровода соединяется с нагрузкой (5). Вторичный виток, пропущенный через два индуктора, позволяет удвоить напряжение на выходе ступени. В качестве изоляции ступени и рабочей среды разрядника используется воздух атмосферного давления.

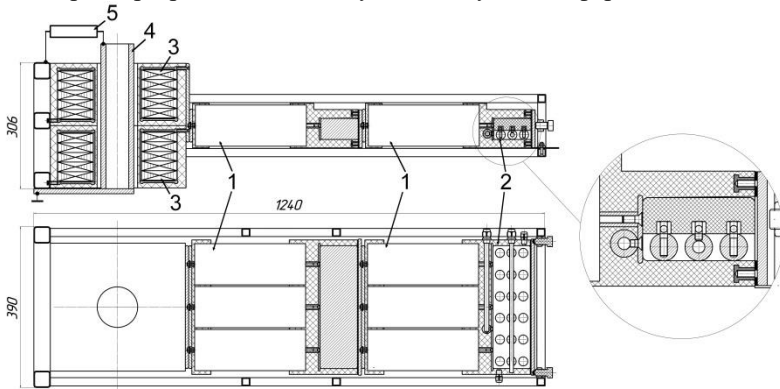


Рис. 1 – Конструкция ступени

Емкостной накопитель энергии состоит из 6 высоковольтных импульсных конденсаторов К75-74-100нФ-40кВ, включенных последовательно-параллельно. Емкость накопителя 150 нФ.

Разрядник ступени имеет многоазорную многоканальную конфигурацию. Искровые промежутки разрядника образованы стальными сферическими электродами диаметром 22 мм. Электроды сгруппированы в 3 ряда по 6 штук в ряду так, что разряд осуществляется через 4 последо-

вательных зазора длиной 6 мм в 6 параллельных искровых каналах. Равномерное распределение напряжения по электродам разрядника задается резистивным делителем. Пусковой импульс подается в каждый из каналов разрядника на электроды среднего ряда. Развязка основного разрядного контура и пусковой цепи по постоянному напряжению обеспечивается за счет разделительной емкости между пусковым проводником и пусковыми электродами.

Рисунок 2 демонстрирует работу ступени на разрядный промежуток в камере дробления, заполненной водой. Зарядное напряжение емкостного накопителя ступени 50 кВ. До пробоя промежутка, ступень работает в режиме холостого хода. На выходе ступени формируется импульс напряжения со скоростью нарастания $\sim 2 \cdot 10^{12}$ В/с и амплитудой $\sim 1.5 \cdot 10^5$ В. Превышение выходным напряжением величины удвоенного зарядного напряжения накопителя обусловлено наличием конструктивной емкости нагрузки (камеры дробления). Через 200 нс происходит пробой промежутка, и начинает протекать ток разряда, близкий к току короткого замыкания, с фронтом 400 нс и амплитудой 10 кА.

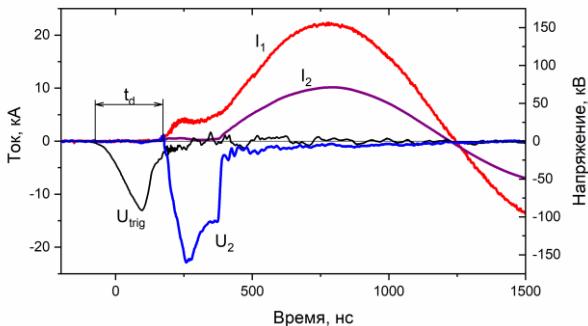


Рис. 2 – Оциллограммы пускового напряжения U_{trig} , тока первичного витка ступени I_1 , напряжения и тока нагрузки U_2, I_2

Частотный режим работы ступени исследован с использованием постоянной резистивной нагрузки 5.9 Ом. Определялись время задержки срабатывания ступени относительно пускового импульса t_d и амплитуда выходной мощности P . Рассчитывались их средние значения в серии импульсов $\langle t_d \rangle$ и $\langle P \rangle$, а также среднеквадратичные отклонения от среднего значения σ . Среднеквадратичное отклонение времени задержки (джиттер) характеризует стабильность времени срабатывания, а среднеквадратичное отклонение мощности характеризует воспроизводимость выходных параметров.

Экспериментальные данные обобщены на Рисунке 3. Выполнено 3×10^4 включений с частотой следования импульсов $f=1-3$ Гц при зарядном напряжении емкостного накопителя $U_0=40-50$ кВ. Во всех режимах реализована стабильная работа ступени с джиттером ≤ 30 нс. Средне-квадратичное отклонение выходной мощности составило менее 6 % от среднего значения.

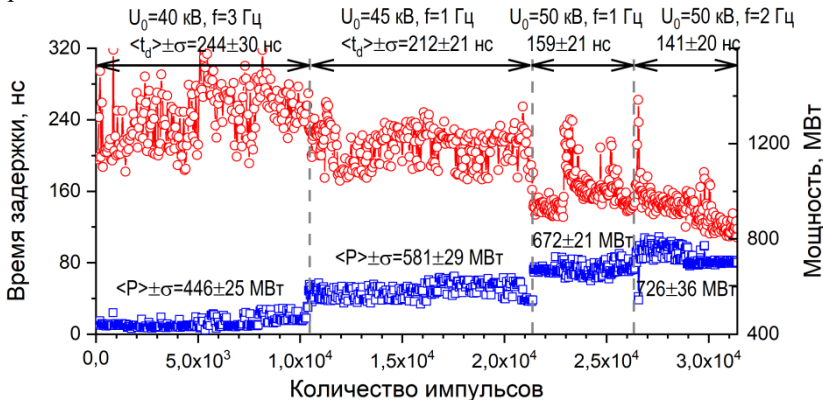


Рис. 3 – Результаты работы ступени на частоте

Результаты испытаний позволяют рекомендовать ступень линейного импульсного трансформатора для ЭИ дробления. Последовательное включение нескольких ступеней даст увеличение выходного напряжения холостого хода, пропорционально числу ступеней, при этом ток короткого замыкания сохранится. Так, при включении трех ступеней на общий вторичный виток амплитуда выходного напряжения составит более 300 кВ при фронте импульса менее 100 нс, а ток разряда составит ~ 10 кА.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №19-08-00115а).

Литература:

1. Leibner T., Hamann D., Wuschke L., Jäckel H.-G., Peuker U.A. High voltage fragmentation of composites from secondary raw materials – Potential and limitations // Waste Management. - 2018. – 74. – P.123–134.
2. Andres U. Development and prospects of mineral liberation by electrical pulses // Intern. Journal of Mineral Processing. – 2010. – 97. – P.31–38.
3. Мощный импульсный трансформатор / В.А. Визирь, А.С. Ельчанинов, Ф.Я. Загулов, Н.Ф. Ковшаров, С.А. Сорокин, В.Ф. Федущак // ПТЭ. – 1986. – №5. – С.95–98.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ РУДНОТЕРМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСПЛАВОВ И ПЕРЕПЛАВА МЕЛОЧИ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.Д. Кочкин, А.А. Кондратьев, В.С. Чередниченко,
Новосибирский технический государственный университет,
Новосибирск, ilop2@yandex.ru

Данный доклад посвящен исследованию, связанному с определением энергетических параметров универсальной ферросплавной печи для сплавов типа феррохром, ферромарганец, ферросилиций. А так же для переработки отходов ферросплавного производства.

This report is devoted to research related to the determination of energy parameters of a universal Ferroalloy furnace for ferrochrome, ferromanganese, and ferrosilicon alloys. As well as for processing waste from Ferroalloy production.

Среди электрических печей класс рудно-термических печей занимает особое место, так как он характеризуется большим разнообразием технологических процессов, предъявляющих соответственно разнообразные, часто специфические требования к конструкции печи, и большими единичными мощностями, близкими к 100 МВА. Превращение электрической энергии в теплоту происходит как в электрической дуге, так и в обрабатываемых материалах [1].

Такие ферросплавы, как ферросилиций, феррохром и ферромарганец относятся к, так называемым, большим ферросплавам [2]. Эти ферросплавы занимают лидирующие позиции в объемах производства и сбыта на рынке.

В условиях рынка, необходимость в определенном объеме производства может изменяться по ряду причин: снижение спроса из-за более высокой стоимости, уровень качества продукции, ограничения по электрической мощности, сокращения производства, а также по причинам поставки отечественных или чаще импортных аналогичных продуктов по демпинговым ценам или условиям, что делает производство нерентабельным.

Переработка отходов ферросплавного производства также является необходимой мерой в современных реалиях. Производство одного только ферросилиция исчисляется десятками тысяч тонн в год. При дроблении ферросилиция образуется до 20% мелких и пылевидных фракции от общего количества ферросплава [3, 4]. Ферросилициевая пыль либо гидротранспортом отправлялась в шламонакопитель, либо складировалась на полигонах, чем существенно загрязняла окружающую среду.

Накопление пыли фракционирования ферросилиция в производственных помещениях создает предпосылки пожаровзрывоопасных ситуаций и нанесения ущерба здоровью обслуживающего персонала. Соединяясь с атмосферой (влажностью воздуха), отсеиваясь, способны выделять горючие газы. Со временем, качество складываемого мелкодисперсного ферросилиция ухудшается. Это объясняется постепенным окислением и загрязнением складываемого материала, что приводит к снижению показателей эффективности его дальнейшего использования. С учетом объемов производства ферросилиция количество таких отходов ежегодно возрастает приблизительно на 20-30 тыс. тонн, и на сегодняшний день накопления ферросилициевой мелочи измеряются сотнями тысяч тонн. Цена такого материала может составлять до 80% от стоимости соответствующей марки ферросилиция [5].

Исследуемая универсальная печь имеет возможность ее перевода с одного технологического процесса на другой с минимальными затратами средств и времени.

Переход с минимальными затратами возможен только для печей, чья мощность трансформатора не превышает 16,5 МВА. Такие условия обусловлены тем, что печи малой мощности для приводимых выше ферросплавов имеют минимальные конструкционные отличия друг от друга. В большинстве своем этими отличиями являются: диаметр распада электрода, диаметр и высота рабочего пространства. Такие отличия не требуют больших затрат для изменения конструкции печи, так, как конструкция современных печей предоставляет возможность изменять диаметр распада электродов с помощью определенного одноименного механизма. А размеры рабочего пространства печи могут быть соблюдены с помощью футеровки ванны [6].

Процессы производства феррохрома, ферросилиция и ферромарганца являются малощлаковыми процессами, и печь работает с закрытыми дугами. Помимо небольших конструктивных элементов, данные печи отличаются и энергетическими параметрами. Такими как: удельная мощность ($\text{кВт} \cdot \text{ч/т}$), напряжение (U), токами (I). Это обусловлено различием удельного сопротивления ванны печей, протеканием химических реакции и т.д.

По методике Микулинского А.С. через критерии подобия будет произведен расчет параметров для печи одного размера. С совпадающим диаметром электродов, диаметром кожуха ванны и одной конструкции. По полученным параметрам будет определен необходимый трансформатор для питания данной печи с запасом мощности 20-30%.

После определения параметров печи, в программном пакете Ansys будет построена численная расчетная модель, которая воспроизведет рабочее пространство ванны печи и ее электрические показатели.

Изменяя напряжение, диаметр распада электродов и рабочее пространство печи, мы получим производственные, энергетические и тепловые показатели печи при разных видах ферросплава. Для исследования тех же самых показателей, но уже с мелочью ферросплавов, будет проводиться с теми же электрическими параметрами, что и для такого же типа ферросплава. Отличие будет заключаться в том, что процесс переплава мелочи происходит в бездуговом режиме. Процесс переплава в печи подобен электрошлаковому переплаву, когда основное выделение энергии происходит в объеме шлака за счет протекания по нему электрического тока. Режим работы печи в режиме ЭШП объясняется тем, что это приводит к меньшему запылению и задымлению рабочего пространства печи, уменьшение угара ферросилициевой мелочи, а также стабильность электрических режимов, уменьшение времени плавки и уменьшение интенсивности шумов.

Литература:

1. *Алиферов А.И.* Дуговые электропечи: учеб. пособие для вузов/ А.И. Алиферов, Р.А. Бикеев, Л.П. Горева, С. Луци, М. Форцан, Д. Барглик.- Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016.- 204 с.
2. *Курапин И.Н.* Рудно-термические электропечи/ И.Н. Курапин, М.Н. Курапина.- Новосибирск : Изд-во НГТУ,1994.- 173 с.
3. Производство ферросилиция: Справочник / под ред. д.т.н. Ю.П. Снитко- Новокузнецк: Изд-во Б.И.,2000.-426с.
4. *Воробьев В.П.* Электротермия восстановительных процессов- Екатеринбург: Изд-во УрО РАН,2009.-169с.
5. Электротехническая энциклопедия. 1 том/ под ред. А.Ф. Дьякова- М.: Изд-во МЭИ, 2005-316с.
6. Возможность модернизации рудовосстановительных электропечей при переводе на производство другого сплава// А.Н. Попов, А.Г. Лыков, В.П. Кондрашов// Сталь. 2007. №4. С. 45-48

ВЛИЯНИЕ МУЛЬТИГЕНЕРАТОРНОЙ СВЧ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА СЕТЬ

С.В. Молот, Е.К. Пыльская, И.И. Артюхов
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, sve_1992@mail.ru

Нелинейность вольт-амперной характеристики магнетрона является причиной импульсного характера электромагнитных процессов в системе электропитания СВЧ электротехнологической установки. Для исследования этих процессов в среде MATLAB+Simulink разработана имитационная модель системы электропитания. В результате моделирования получены виртуальные осциллограммы токов и напряжений, проведен их анализ с применением быстрого преобразования Фурье, показано негативное влияние СВЧ-установки на сеть.

The nonlinear shape of the magnetron I-V curve is a reason for the pulsed electromagnetic processes in the power supply system of the microwave electrical installation. The power supply system model for studying these processes was created in the MATLAB + Simulink environment. The simulation results were virtual current and voltage curves; they were analyzed using the fast Fourier transform. The analysis showed the negative impact of the microwave electric installation on the power supply system.

СВЧ электротехнологическая установка представляет собой сложную систему, в процессе работы которой необходимо распределить СВЧ-энергию, вырабатываемую одним или несколькими СВЧ-генераторами согласно заданным требованиям. Выбор способа распределения зависит от целого ряда параметров, которые определяются технологическим процессом обработки исходного материала [1]. Установки конвейерного типа чаще всего выполняют мультигенераторными, причем для равномерной загрузки сети количество генераторов принимают кратным трем [2].

Для построения источников СВЧ-энергии в настоящее время имеется широкая гамма электронных приборов. В установках небольшой мощности наиболее часто применяют пакетированные магнетроны (со встроенными магнитами). Хорошие характеристики имеет магнетрон *TOSHIBA 2M164* (рисунок 1), который генерирует СВЧ колебания в диапазоне частот от 2440 до 2460 МГц. Средняя выходная мощность составляет 1300...1600 Вт [3].

На рисунке 2 показана схема электропитания магнетрона 2M164. Необходимое для накала катода напряжение снимается со вторичной обмотки трансформатора ТН, первичная обмотка которого через регулятор напряжения РН и коммутатор К1 подключена к сети. Регулятор

напряжения необходим для изменения напряжения накала в процессе разогрева катода и выхода магнетрона на рабочий режим.



Рис. 1 – Магнетрон
TOSHIBA 2M164

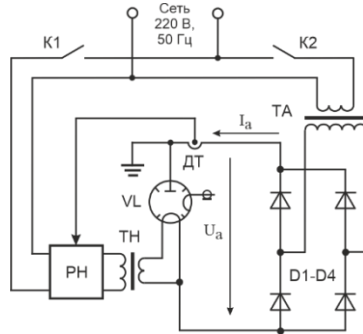


Рис. 2 – Схема магнетронного генератора

В соответствии с техническими требованиями на эксплуатацию магнетрона 2M164 необходим предварительный прогрев катода в течение некоторого времени (не менее 3 секунд). Поэтому при включении системы электропитания магнетрона VL сначала срабатывает коммутатор K1, в результате чего на цепь накала катода подается напряжение, действующее значение которого составляет 3,6...4,4 В. Затем с помощью коммутатора K2 на анодную цепь подается напряжение, которое создается мостовым выпрямителем D1-D4, присоединенным ко вторичной обмотке высоковольтного трансформатора ТА. Первичная обмотка этого трансформатора подключается к сети через коммутатор K2.

Магнетроны имеют ярко выраженную нелинейную зависимость анодного тока от напряжения на анодной цепи. Генерация СВЧ колебаний осуществляется только в том случае, когда напряжение U_a превышает пороговое значение U_0 . В результате анодный ток i_a имеет импульсный характер.

Для исследования электромагнитных процессов в системе электропитания мультигенераторной СВЧ-установки разработана имитационная модель в среде *MATLAB+Simulink*. Схема модели для установки с тремя магнетронными генераторами показана на рисунке 3. Генераторы представлены подсистемами *Magnetron* (рисунок 4).

Магнетрон моделируется схемой замещения в виде последовательно соединенных диода (блок *Diode*), динамического сопротивления (блок *Rdin*) и включенного во встречном направлении источника постоянного напряжения (блок *DC Voltage Source*), величина которого соответствует

пороговому напряжению U_0 моделируемого магнетрона. Для магнетрона 2M164 на основании его паспортных характеристик были приняты следующие значения: $R_{din}=100$ Ом; $U_0=3300$ В.

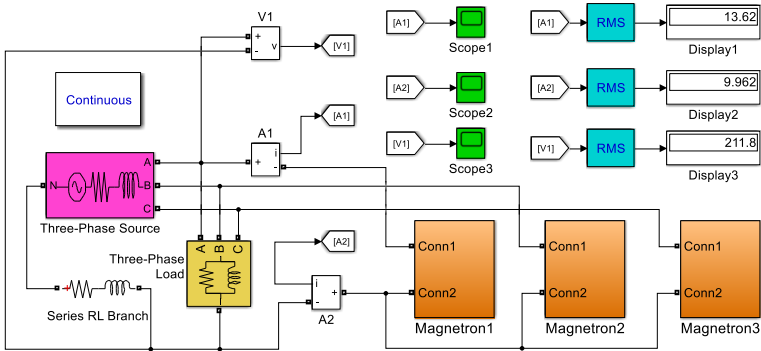


Рис. 3 – Имитационная модель системы электропитания

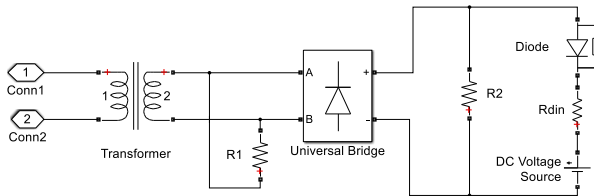


Рис. 4 – Субсистема *Magnetron*

Питающая сеть моделировалась блоками *Three-Phase Source* и *Series RL Branch*. Фазное напряжение сети 220 В. Активное сопротивление и индуктивность сети 0,5 Ом и 0,2 мГн соответственно.

В результате моделирования получены виртуальные осциллограммы токов и напряжений, проведен их анализ с применением быстрого преобразования Фурье. Осциллограмма фазного тока и его спектр показаны на рисунках 5 и 6 соответственно. Отчетливо видно, что кривая фазного тока имеет несинусоидальную форму. При указанных выше параметрах схемы суммарный коэффициент гармонических составляющих тока равен 27,43 %. При этом наибольший вклад в искажение тока вносит 3-я гармоника, амплитуда которой относительно амплитуды 1-й гармоники составляет 25,24 %.

Напряжение сети снизилось до 211,8 В, суммарный коэффициент гармонических составляющих равен 12,88 %, причем коэффициент 3-й гармоники 12,28 %. Таким образом, показатели качества электроэнер-

гии, характеризующие несинусоидальность напряжения, не соответствуют требованиям ГОСТ 32144-2013.

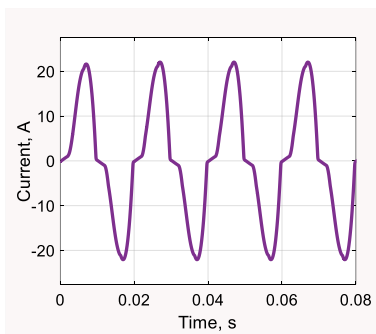


Рис. 5 – Оциллограмма тока

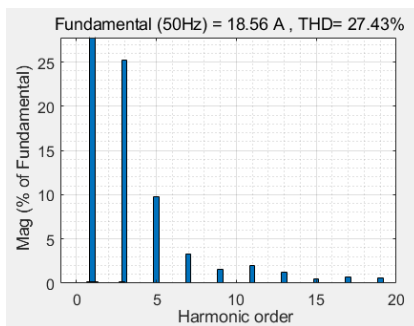


Рис. 6 – Спектр тока

Так как первичные обмотки трансформаторов в схеме на рис. 2 рассчитаны на фазное напряжение, то в случае применения трех или шести магнетронных генераторов их цепи питания соединяют по схеме «звезда». Наличие 3-й гармоник в фазных токах приводит к тому, что по нулевому проводу протекает ток, который имеет частоту 150 Гц и величину, соизмеримую с величиной фазного тока. Для рассмотренного варианта моделирования действующие значения токов фазы и нулевого провода составляют 13,62 и 9,96 А соответственно. Решением этой проблемы может быть использование трансформаторов, первичные обмотки которых рассчитаны на линейное напряжение, и включение их по схеме «треугольник».

Литература:

1. *Артюхов И.И., Земцов А.И.* Направления совершенствования мультигенераторных СВЧ электротехнологических установок // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. Т.1, № 3(54). – С. 149-154.
2. Modeling of a new high voltage power supply for microwave generators with three magnetrons / B. Bahani, A. Bouzit, M. Chraygane, M. Ferfra, N. El Ghazal, A. Belhaiba // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – 2013. – Vol. 3, N. 2. – P. 164-170.
3. TOSHIBA Industrial Magnetron 2M164. URL: http://www.hokuto.co.jp/eng/products/ind_magnetron/pdf/2M164_E.pdf (accessed: 03.11.2020)

ИНДУКЦИОННАЯ УСТАНОВКА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ПЛАВКИ И РАФИНИРОВАНИЯ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

А.Э. Морев, Р.А. Ким, А.И.Алиферов.

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, glhficcup@yandex.ru

Перемешивающее расплав магнитное поле может быть создано при вращении или перемещении постоянных магнитов. Преимуществом такого способа создания поля являются высокий КПД индукционной установки. Правильный выбор режима движения магнитов позволит обеспечить растворение внесенных добавок, разбиение их агломератов, дегазацию расплава, сепарацию частиц окислов и шлаков, выровнять по объему расплава его состав и температуру, улучшить микроструктуру при кристаллизации.

A melt-stirring magnetic field can be created by rotating or moving permanent magnets. The advantage of this method of creating a field is the high efficiency of the induction installation. The correct choice of the mode of movement of the magnets will ensure the dissolution of the introduced additives, the breakdown of their agglomerates, the degassing of the melt, the separation of particles of oxides and slags, equalize its composition and temperature over the volume of the melt, and improve the microstructure during crystallization.

В последнее десятилетие большое внимание уделяется разработке оборудования и технологий получения высококачественных сплавов на основе алюминия (алюминиевых, алюминиевомагниевого и др.). В настоящее время такие сплавы получают на металлургических предприятиях переплавом чернового алюминия преимущественно в индукционных тигельных или канальных печах с последующим рафинированием и легированием расплава в миксерах сопротивления или индукционных канальных печах-миксерах. В этой технологической цепочке основную роль в обеспечении высокого качества получаемых сплавов играет процесс рафинирования и легирования расплава при его интенсивном перемешивании. Наиболее качественно и производительно перемешивание выполняется посредством бегущего или вращающегося электромагнитного поля. Поэтому исследование и разработка новых перспективных устройств, реализующих МГД- перемешивание расплава, является сейчас актуальной задачей. МГД- процессы в индукционных системах в настоящее время исследуются преимущественно методами численного моделирования, в реализации которого большой вклад внесли В.Н.Тимофеев, Р.М. Христинич, М.В. Первухин, М. Forzan, O. Ben-David, A. Jakovičs, S.Lupi, B.Nacke и другие исследователи. Особое внимание сейчас уделяется системам индукционного нагрева с постоян-

ными магнитами, так как они обладают более высоким электрическим КПД (до 80%), по сравнению с классическим индукционным нагревом (не более 50% при нагреве алюминиевых сплавов). К настоящему времени значительные исследования электромагнитных и тепловых процессов в системах индукционного нагрева с постоянными магнитами выполнены Д.А. Михайловым, М. Forzan, A. Jakovičs, S.Lupi. Но исследованиям МГД-процессов в таких индукционных системах уделено меньше внимание (Д.А.Михайлов, О. Ben-David). Поэтому исследования, представляемые в данной работе, актуальны как для развития теории, так для практики применения таких систем нагрева и электромагнитной обработки алюминиевых расплавов.

Для исследования электромагнитных, тепловых и гидродинамических процессов, протекающих в ванне расплава, были разработаны численные модели в программном комплексе *ANSYS*, которые позволили рассчитать электромагнитные параметры системы в режиме нагрева, такие как активную мощность, выделяемую в расплаве и момент сопротивления вращению, а также поле скоростей в ванне жидкого металла.

Данная задача была разделена на квазигармоническую электромагнитную и транзитную тепловую, при нагреве, и квазигармоническую электромагнитную и стационарную гидродинамическую с односторонней связью при перемешивании. При решении электромагнитной задачи было получено распределение сил Лоренца, которые использовались как объемные силы, при решении гидродинамической задачи.

На рисунке 1 показана схема, реализованная при моделировании данной системы для расчета сопряженной электромагнитной тепловой и гидродинамической задачи. Цилиндрическая ванна расплава диаметром 80, 100, 140, 200 мм и длиной 200 мм. Технологический зазор z между поверхностью ванны и магнитами, в процессе моделирования изменялся в пределах от 5 до 40 мм. Высота магнитов $h=50$ мм, остаточная индукция 1 Тл, коэрцитивная сила 1050 кА/А. Скорость вращения постоянных магнитов вокруг заготовки при нагреве изменялась от 20 до 50 об/с, а при перемешивании 0.1 до 1 об/с.

На рисунке 2 представлены зависимости активной мощности, выделяющейся в загрузке, от скорости вращения магнитной системы при технологическом зазоре $z = 10$ мм и отношении углового размера зазора к угловому размеру магнита $Ag/Am = 1$ для различного количества пар полюсов.

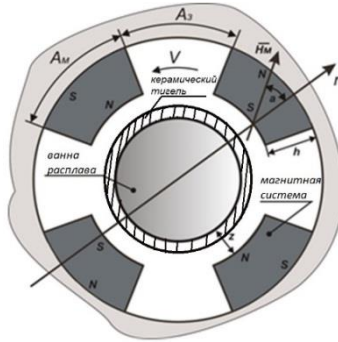


Рис. 1 – Система магнитогидродинамического перемешивания ванны жидкого металла на базе постоянных магнитов

С увеличением скорости вращения магнитной системы вокруг заготовки, а также с увеличением количества пар полюсов магнитов происходит значительное возрастание интегральной активной мощности, выделяющейся в заготовке [1-3].

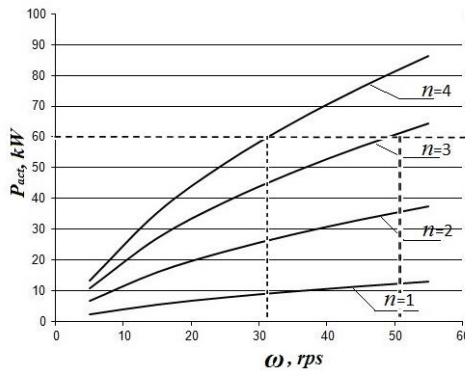


Рис. 2 – Зависимость интегральной активной мощности в нагреваемом цилиндре от скорости вращения магнитной системы.

На рисунке 3 представлены распределение скорости расплава по радиусу ванны при различных скоростях вращения магнитной системы. Скорость расплава V , увеличиваясь от оси к внешней поверхности ванны расплава, достигает максимума и затем уменьшается до нуля у боковой поверхности ванны. При этом с увеличением угловой скорости вращения магнитов максимум скорости перемещения расплава достигает больших значений и смещается в сторону боковой поверхности ванны расплава.

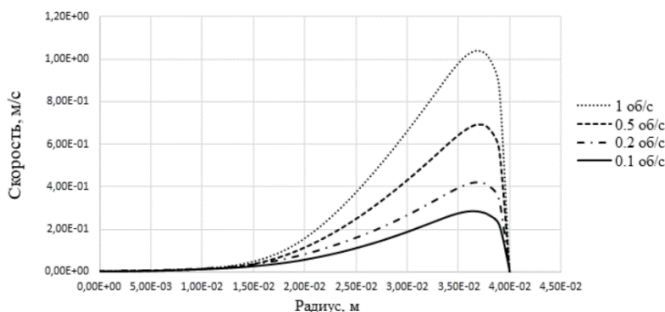


Рис. 3 – График изменения скорости по радиусу ванны расплава, при диаметре ванны 80мм.

В данной работе представлены результаты численных расчетов, позволяющих сформулировать параметры лабораторной экспериментальной универсальной индукционной установки с постоянными магнитами для реализации последовательных операций нагрева, плавки и рафинирования алюминиевых сплавов.

Литература:

1. Aliferov A. The study of heating mode temperature behavior of non-magnetic pieces in an induction system with permanent magnets / A. Aliferov, V. Promzelev, A. Morev // Applied Mechanics and Materials. - 2015. – Vol. 698 : Electrical Engineering, Energy, Mechanical Engineering, EEM 2014. – P. 61–64.
2. MHD steering of aluminum melt in cylindrical bath by means of permanent magnets system / A. I. Aliferov, D. S. Vlasov, V. A. Promzelev, A. E. Morev // 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. 782-784..
3. Нагрев немагнитных изделий цилиндрического и прямоугольного поперечного сечения в магнитном поле вращающихся постоянных магнитов = Heating of nonmagnetic workpieces of cylindrical and rectangular cross section in the magnetic field of rotating permanent magnets / А. И. Алиферов, В. В. Жуловян, А. Э. Морев, В. А. Промзелев // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - 2018. – № 4 (41). – С. 30–43.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРИОГЕННОЙ СИСТЕМЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СОЛЕНОИДА PANDA

А.Е. Орлова, А.А. Краснов

Новосибирский государственный технический университет,
Институт ядерной физики им. Будкера СО РАН,
г. Новосибирск, aleksandraor.34@mail.ru

В данной работе приведены расчеты и анализ параметров криогенной системы сверхпроводящего соленоида PANDA. Представлен метод охлаждения и расчет тепловых нагрузок элементов криостата и распределительного бокса. Рассчитаны параметры охлаждения жидкого гелия в теплообменнике. На основании полученных данных приводится обоснование конструкции холодной массы и криостата соленоида PANDA.

This paper presents calculations and analysis of the parameters of the cryogenic system superconducting solenoid PANDA. The method of cooling and calculation of thermal loads of cryostat elements and distribution box is presented. The parameters of cooling liquid helium in a subcooler are calculated. On the basis of the data obtained, the design of the cold mass and the cryostat of the PANDA solenoid is presented.

Эксперимент PANDA проводится в Европейском исследовательском центре ионов и антипротонов, FAIR - в г. Дармштадт, Германия. Целью проекта является изучение фундаментальных свойств и структуры материи. Благодаря этому эксперименту ученые смогут по-новому «заглянуть» внутрь мельчайших частиц материи и антиматерии. Это единственный в мире реализуемый в настоящее время проект, который будет использовать антипротонный пучок высокой интенсивности. Его сложность сопоставима с экспериментами ATLAS и ALICE на Большом адронном коллайдере, а для его проведения требуются уникальные условия, получение которых является сложнейшей задачей ускорительной и детекторной физики.

В изучении фундаментальных свойств материи важнейшим инструментом современной экспериментальной физики высоких энергий служат сверхпроводящие детекторы. Широко применяемые в настоящее время проводники требуют низких температур для поддержания режима сверхпроводимости, поэтому для создания сверхпроводящего магнита требуется эффективная и надежная криогенная система. Для охлаждения магнита PANDA был выбран термосифонный метод. Произведен гидравлический расчет для ряда параметров в стационарном режиме.

Особенностью низкотемпературного теплообмена является сильная зависимость теплофизических свойств материалов конструкции и хладагентов от изменения температуры. Для обеспечения корректной рабо-

ты детектора при расчете криогенной системы были учтены нагрузки от воздействия вихревого тока, радиационная тепловая нагрузка, теплопритоки по тепловым мостам от окружающей среды и элементов конструкции. Общий вид криостата и распределительного бокса представлен на рисунке 1. В работе приводится расчет тепловых нагрузок опор и элементов распределительного бокса.



Рис.1 – Общий вид криостата и распределительного бокса

Для обеспечения требуемых теплофизических параметров в среде *MatLab* был произведен расчет и моделирование различных вариантов конструкции переохладителя жидкого гелия. На основе полученных результатов было выбрано оптимальное соотношение.

В новосибирском институте ядерной физики проводится разработка и тестирование сверхпроводящего соленоида *PANDA*. На данном этапе работы осуществляется проектирование и расчет параметров экспериментального стенда для проведения тестирования работы магнита. Тестирование планируется осуществить с использованием криогенной системы детектора КЕДР. Для обеспечения работоспособности всей системы было принято решение организовать дополнительный распределительный бокс. Криогенная система с распределительным боксом представлена на рисунке 2. От гелиевого объема распределительного бокса поток будет поступать в основной распределительный бокс. Для повышения надежности работы будет осуществляться подача гелия в

объем из транспортного дьюара. В дополнительном распределительном боксе также будет установлен переохладитель жидкого азота. Разрабатывается схема соединения криогенных систем, далее будет произведен расчет всех параметров.

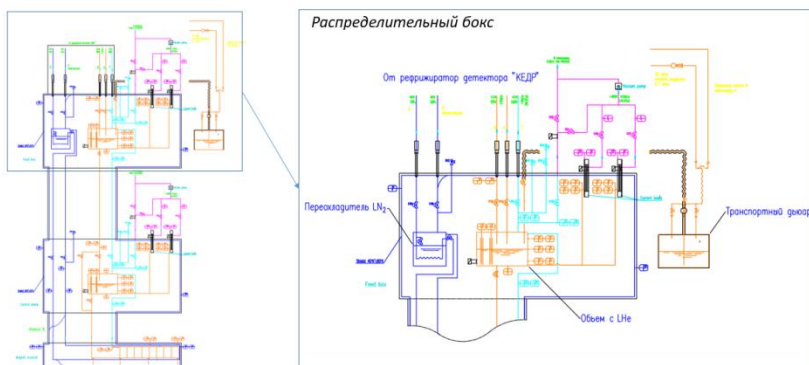


Рис. 2 – Криогенная система соленоида с дополнительным распределительным боксом.

Литература:

1. Detailed Specification for the PANDA Superconducting Solenoid Magnet, The PANDA Collaboration, 2017. -193р.
2. Персов Б.З., Расчет и проектирование экспериментальных установок, Москва-Ижевск: РХД, Институт компьютерных исследований, 2006. - 348 с.
3. Каганер М.Г. Тепловая изоляция в технике низких температур, М.: Машиностроение, 1966. - 275с.

ДВУМЕРНАЯ ЧИСЛЕННАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ТЕРМОНАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЙ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПОД ЗАКАЛКУ

А.В. Павлушин

Самарский государственный технический университет,
г. Самара, Alex1995i79@gmail.com

В работе рассматривается двумерное численное моделирование первого этапа закалки - стадии индукционного нагрева стальной заготовки сложной

геометрической формы. Исследование выполнено в ППП ANSYS. Показаны этапы выполнения моделирования. Проведен анализ распределения температурных полей и эквивалентных напряжений по объему заготовки в конце процесса нагрева.

The paper presents 2D numerical modeling the induction heating stage of a steel billet of complex geometric shape in the ANSYS software package. The stages of the simulation are shown. The analysis of temperature fields and equivalent stresses formed inside the workpiece at the end of the heating process has been carried out.

Развитие технологий термической обработки позволяет усовершенствовать процесс упрочнения металлических деталей сложной геометрической формы с реализацией стадии нагрева индукционным способом. Индукционные нагревательные установки часто используются в промышленности и имеют широкий спектр применения в технологических комплексах для реализации различных операций: пластическая деформация, пайка, закалка, плавка, и др. Процедура закалки реализуется в несколько этапов и заключается в нагреве стали до требуемой температуры, выдержке при этой температуре и охлаждении со скоростью, обеспечивающей получение мартенситной микроструктуры. При этом нагрев металлических заготовок сложной геометрической формы под закалку в индукторах типовой конструкции, часто приводят к формированию неравномерного температурного поля, что способствует появлению областей с недопустимыми дефектами типа микротрещин.

В работе представлено 2D численное моделирование первого этапа закалки - стадии индукционного нагрева стальной заготовки сложной геометрической формы. Исследование выполнено в ППП ANSYS. Главной задачей исследования является анализ распределения полей термических напряжений заготовки в конце стадии нагрева при использовании квадратной формы витков индуктора. Основная цель исследования – получение данных для постановки задачи оптимального проектирования, решение которой позволит достичь равномерных растягивающих термонапряжений по объему поверхностного закаливаемого слоя. Формирование равномерных полей термонапряжений позволит улучшить микроструктурные свойства металла, которые смогут удовлетворить постоянно возрастающим требованиям к процессу закалки [1, 2].

Процесс моделирования в ППП ANSYS начинается с введения исходных данных (табл. 1), затем создается геометрия индукционной нагревательной системы (рисунок 1), производится присвоение свойств материалов соответствующим областям, а также накладывается конечно-элементная сетка. На следующих этапах последовательно решаются взаимосвязанные электромагнитная, тепловая, и упругопластическая задачи с учетом нелинейных свойств типовой углеродистой стали и по-

терь на конвекцию и излучение с поверхности заготовки. В процессе исследования рассматривались многочисленные вариации значений конструктивных параметров, силы и частоты тока источника питания (из табл.1 №1,2,3,5,11,12,13). Форма витков индуктора оставалась неизменной. При изменении указанных параметров в широких пределах, температурное распределение характеризовалось высокой степенью неравномерности. В качестве исходных данных для моделирования, которые представлены в работе, выбраны значения, при которых удалось получить наибольшую равномерность температурного поля.

Таблица 1 - Исходные данные для моделирования

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Сила тока первого источн. питания, виток №1,3, А	900
2	Сила тока второго источн. питания, виток №2, А	1000
3	Частота тока обоих источников питания, кГц	100
4	Время нагрева, с	10
5	Сторона витка индукционной нагревательной установки, мм	13,25
6	Материал заготовки	Углеродистая сталь
7	Высота заготовки, мм	60
8	Радиус заготовки в узком месте, мм	11
9	Радиус заготовки в широком месте, мм	16,85
10	Глубина закаливаемого слоя заготовки, мм	2
11	Расстояние между витками и заготовкой, мм	1,5
12	Расстояние между витками, мм	3
13	Расстояние между витком №2 и заготовкой по оси ОУ, мм	1

Анализируя результаты решения задачи моделирования, можно сделать вывод, что *L*-образная геометрическая форма детали значительно ухудшает равномерность электромагнитного поля в угловой зоне, что связано с явлением электромагнитного скин-эффекта, приводящего к существенно неоднородному тепловыделению по объему заготовки. Температурное распределение, полученное в конце стадии нагрева заготовки, представлено на рисунке 2 [2].

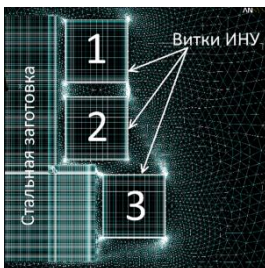


Рис. 1 – Общий вид геометрии индукционной нагревательной системы

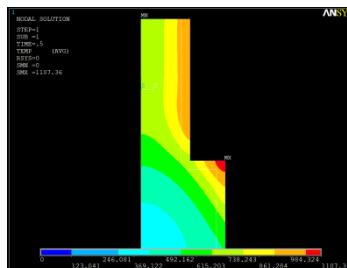


Рис. 2 – Двумерное распределение температуры стальной заготовки в конечный момент времени нагрева

В угловой зоне закаливания имеется существенный недогрев закаливаемого слоя около 200°C , который является недопустимым. Одним из главных условий формирования такого неравномерного температурного распределения является низкая плотность магнитного потока в данной области. В итоге из-за крайне неравномерного температурного поля на поверхности стальной заготовки в конце стадии нагрева формируются неравномерные эквивалентные напряжения.

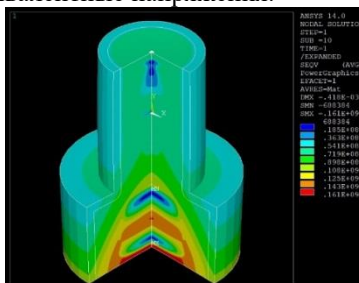


Рис. 3 – Трехмерная модель эквивалентных растягивающих напряжений в конце стадии нагрева, полученная развёртыванием двумерной модели

Результат моделирования эквивалентных напряжений (рис. 3), возникающих в конце процесса высокоскоростного нагрева, показал наибольшую равномерность полей термонапряжений в тех же зонах, где было сформировано наиболее равномерное температурное распределение на поверхностном слое заготовки. Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу в конечный момент времени нагрева приближаются к 161 МПа и концентрируются в областях близких к центру заготовки, при этом в поверхностном слое среднее значение напряжений колеблется от 40 до 85 МПа [2]. Сформировавшиеся неравномерные термические напряжения могут привести к быстрому износу детали и

критической деформации [3]. Результаты анализа приводят к выводу, что для получения в поверхностном слое заготовки сложной геометрической формы допустимых отклонений температуры от требуемой, необходимо сформулировать и решить задачу оптимального проектирования нагревательной установки. Данная задача может быть решена на основе альтернативного метода параметрической оптимизации систем с распределенными параметрами [4]. Численная оптимизационная процедура построенная на основе альтернативного метода может быть реализована в ПП МАТЛАБ. В оптимизационную процедуру планируется интегрировать описанную выше двумерную нелинейную численную ANSYS-модель процесса нагрева. Обмен данными между программными пакетами может осуществляться с помощью стандартных средств указанных программных пакетов. При решении задачи оптимального проектирования следует отказаться от квадратной формы витков индуктора не позволяющих получить требуемую равномерность температурного поля. Отказ от квадратной формы витков индуктора существенно увеличит число оптимизируемых конструктивных параметров и принципиально усложнит задачу.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-08-00232.

Литература:

1. *Плешивцева Ю.Э., Попов А.В., Попова М.А., Деревянов М.Ю.* Оптимальное проектирование индуктора для поверхностной закалки цилиндрических заготовок на основе численной двумерной модели // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 1.
2. *Павлушин А.В.* Численное моделирование температурных и термонапряженных состояний стальной заготовки в процессе индукционного нагрева под закалку// Н 34 Научные междисциплинарные исследования: сборник статей V Международной научно-практической конференции. – Саратов: НОО «Цифровая наука». – 2020. С. 24-32.
3. *Коршиков С.Е., Ткачев И. А.* Моделирование полей термических напряжений в процессе нагрева стальных цилиндрических заготовок // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XV Международной конференции. - Самара: СНЦ РАН, 25-28 июня 2013. - с. 7277.
4. *Рапопорт Э. Я.* Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации. М. : Наука, 2000. - С.336.

ПЕРВЫЙ ЭТАП ЦИФРОВИЗАЦИИ ИНДУКЦИОННОЙ ВАКУУМНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ СТЕКЛА

Ю.Ю. Перевалов, К.А. Корешко, В.Д. Марченко
Санкт-Петербургский государственный электротехнический уни-
верситет «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург
yuperevalov@yandex.ru

В работе излагаются особенности построения электромагнитных и тепловых моделей индукционной вакуумной печи для плавки стекла. Дается краткое описание установки. Приводятся результаты моделирования и расчета оптимальной конструкции индукторов для нагрева графитового тигля. Определены активные сопротивления индукторов, активные и реактивные мощности, КПД, коэффициент мощности и т. д. Построенные численные модели рассматриваются как первый этап в разработке полного цифрового двойника печи. В перспективе планируется использовать, разработанный в будущем, цифровой двойник в рамках концепции Индустрия 4.0.

The paper describes the features of constructing electromagnetic and thermal models of an induction vacuum furnace for glass melting. A brief description of the installation is given. The results of modeling and calculation of the optimal design of inductors for heating a graphite crucible are presented. The active resistances of inductors, active and reactive powers, efficiency, power factor, etc. have been determined. The constructed numerical models are considered as the first stage in the development of a complete digital twin of the furnace. In the future, it is planned to use a digital twin developed in the future within the framework of the Industry 4.0 concept.

Цифровые технологии позволяют значительно увеличить эффективность всех промышленных процессов. Цифровая модель помогает менять параметры работы оборудования и вносить улучшения гораздо быстрее и безопаснее, чем при экспериментах на реальных объектах. Цифровой двойник — виртуальный прототип реального объекта, группы объектов или процессов. Это сложный программный продукт, который создается на основе самых разнообразных численных моделей с точным математическим описанием. Цифровой двойник позволяет перенести реально существующий объект или его компонент в цифровое пространство, а также смоделировать различные ситуации и влияние внешних и внутренних факторов. Таким образом, цифровой двойник позволяет подбирать наиболее адекватные сценарии проведения технологических процессов, чтобы избежать сбоев и форс-мажоров. Эксперты выделяют три типа двойников: цифровые двойники-прототипы (*Digital Twin Prototype, DTP*), цифровые двойники-экземпляры (*Digital Twin Instance, DTI*) и агрегированные двойники (*Digital Twin Aggregate, DTA*) [1].

Планируется построить *DTA* (агрегированный двойник) индукционной вакуумной печи для плавки стекла. На первом этапе были построены комплексные электромагнитные и тепловые модели индукционной печи, были использованы численные методы моделирования физических процессов в материалах объекта. Задача делится на внешнюю (расчет входных параметров индукторов и поля вне загрузки) и внутреннюю (расчет распределения электромагнитного и температурного поля в загрузке). Внешняя задача решается на базе интегральных уравнений, и для нее могут использоваться МИУ, а внутренняя - на базе дифференциальных уравнений, решаемых МКР или МКЭ [2]. С помощью этого метода можно моделировать поведение сложных систем путём разбиения их на множество элементов, достаточно малых для того, чтобы рассматривать их свойства как однородные.

Индукторы в печи расположены на достаточно близком расстоянии, относительно корпуса, поэтому необходимо использовать специальные меры для электромагнитной защиты корпуса от поля индуктора. Современная индукционная тигельная печь (рисунок 1) состоит из следующих основных конструктивных элементов: корпуса из ферромагнитной стали, индуктора с водяным охлаждением, изготовляемого из полый медной трубки, огнеупорной футеровки, вспомогательных устройств (механизма загрузки - выгрузки).

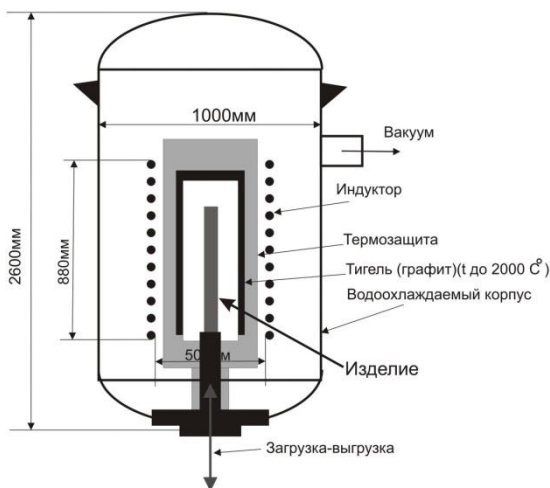


Рис. 1 – Схема индукционной вакуумной тигельной печи

Производя расчет индуктора, учитывались параметры источника питания, а именно СЧГ4-250/4, который работает на напряжении питающей сети 400 В, его мощность 250 кВт и частота 4 кГц. Моделирование и расчет параметров индукционной системы производился для двух случаев, когда:

1. Индуктор имеет две секции;
2. Индуктор имеет три секции.

При выборе наиболее подходящей трубки, с лучшими параметрами для данной установки и источника питания, рассматривались 2 различных вида трубок по 3 варианта в каждом. А именно, медные трубки круглого сечения ($\varnothing 12 \times 1$, $\varnothing 24 \times 2$, $\varnothing 36 \times 3$) и медные волноводные трубки прямоугольной геометрии ($18 \times 10 \times 1$, $25 \times 12 \times 1$, $38 \times 18 \times 1.5$).

Для индуктора с двумя секциями была рассчитана мощность, выделяемая в нагрузку в зависимости от количества витков в секции, показанная на рисунке 2. На рисунке 2: 1 – трубка медная круглого сечения $\varnothing 12 \times 1$; 2 – $\varnothing 24 \times 2$; 3 – $\varnothing 36 \times 3$; 4 – трубка медная прямоугольная с размерами $18 \times 10 \times 1$; 5 – $25 \times 12 \times 1$; 6 – $38 \times 18 \times 1.5$; 7 – номинальная мощность источника питания, кВт.

Из графиков видно, что лучшие показатели при двух секциях, близкие к необходимым, дает медная волноводная трубка с прямоугольной геометрией $18 \times 10 \times 1$ (трубка №4 на графиках) при 7 витках в каждой секции.

В ходе расчета построены гистограммы, отражающие сопротивления на каждом витке в секциях индуктора (рисунок 3).

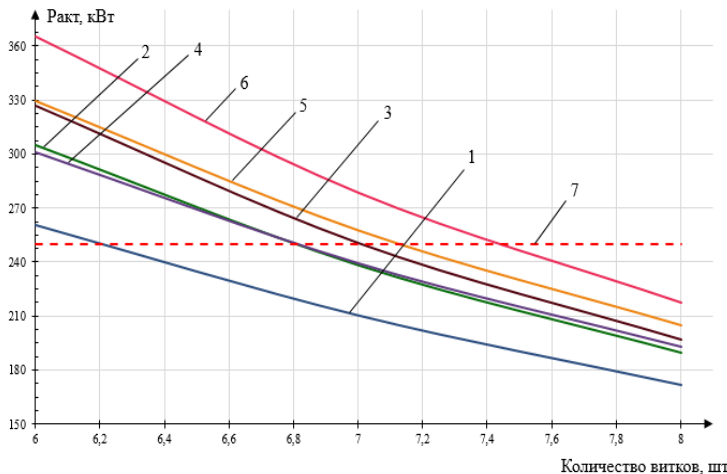


Рис. 2 – Графики распределения мощности, выделяемой в нагрузку

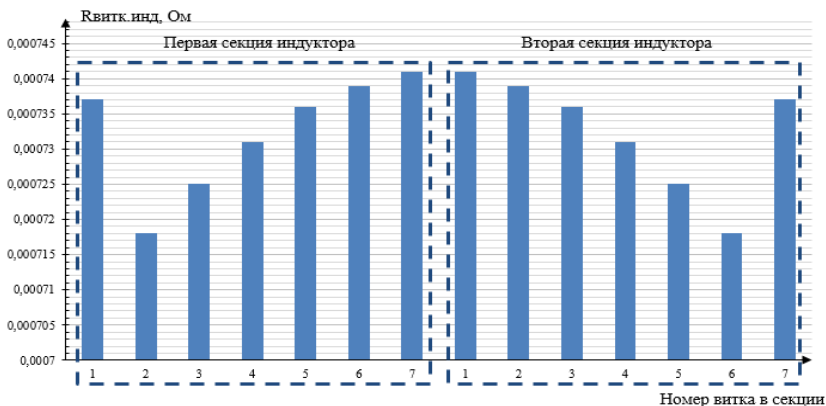


Рис. 3 – Гистограмма сопротивлений в витках индуктора

Были построены модели, проведено моделирование и установлены ключевые параметры индуктора для индукционной вакуумной печи.

Литература:

1. Цифровые двойники // RUSBASE. URL: <https://rb.ru/longread/digital-twin> (дата обращения: 12.03.2020).

2. Демидович В.Б., Первалов Ю.Ю., Прокофьев Г.И. Цифровые системы управления температурой в непрерывных линиях термообработки В сборнике: Проблемы управления и моделирования в сложных системах Труды XXI Международной конференции. В 2-х томах. Под редакцией С.А. Никитова, Д.Е. Быкова, С.Ю. Боровика, Ю.Э. Плешивцевой. 2019. С. 270-275.

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ И ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ НА ТЕХНОЛОГИЮ ПЛАВЛЕНИЯ И КАЧЕСТВО ПОЛУЧЕНИЯ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА

Е.Р. Саркисова, В.А. Лаврентьев

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Sarkisova.elizaweta@yandex.ru

Развитие современных технологий энергосбережения невозможно без применения эффективных и доступных теплоизоляционных материалов. В настоящее время наибольший интерес представляют волокнистые термостойкие теплозвукоизоляционные материалы, на основе магматических горных пород-базальтов. Достоинством базальтовых волоконных материалов является доступность и низкая стоимость сырья, высокая термостойкость, низкая теп-

лопроводность, высокая химическая устойчивость к агрессивным средам и экологическая безопасность последующей эксплуатации готового материала.

Эта статья описывает технологии производства получения базальтового волокна, достоинства и недостатки приведенных способов плавления, а также их основные схемы. Влияние выбора технологии имеет огромное значение, как на экономические, так и на экологические аспекты и не только.

The development of modern energy saving technologies is impossible without the use of effective and affordable thermal insulation materials. Currently, fibrous heat-resistant heat and sound insulation materials based on igneous rocks-basalts are of the greatest interest. The advantage of basalt fiber materials is the availability and low cost of raw materials, high temperature resistance, low thermal conductivity, high chemical resistance to aggressive media and environmental safety of the subsequent operation of the finished material.

This article describes production technologies for obtaining basalt fiber, the advantages and disadvantages of the above methods of melting, as well as their basic schemes. The influence of the choice of technology is of great importance, both on economic and environmental aspects and not only.

Если сравнивать две технологии получения базальтового волокна, то можно говорить о том, что они имеют общий элемент-технологический плавильный комплекс, от которого, зависит производительность процесса и его экономическая эффективность [1].

Способ получения базальтового волокна в газовой вагранке состоит в плавлении сырья, подаваемого в загрузочную часть печи (Рисунок 1).

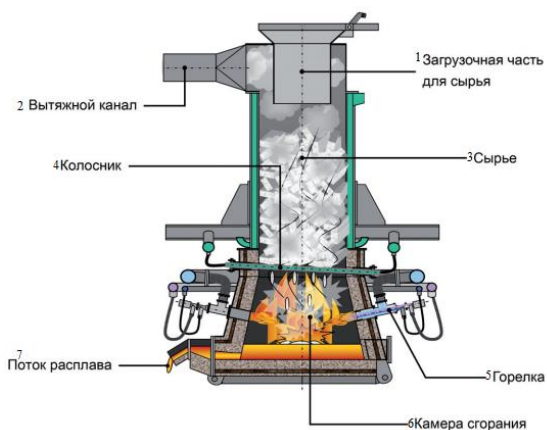


Рис. 1 – Принципиальная схема газовой вагранки
1 – загрузочная часть сырья; 2 – вытяжной канал; 3 – сырье; 4 – колосник; 5 – горелка; 6 – камера сгорания; 7 – поток расплава

Энергия подается через специально приспособленные горелки, работающие на смеси газа, воздуха и кислорода, которые расположены по периметру в нижней части вагранки и направлены внутрь [2]. Чтобы оптимально использовать камеры сгорания, горелки не направляют непосредственно к центру, а слегка смещают под определенным углом по отношению к горизонтальной оси. За счет этого обеспечивается стабильный избыточный нагрев для ванны плавления.

Способ получения базальтового волокна в индукционной печи основан на характере изменения свойств базальтов при нагревании. Горные породы типа базальта в основном состоят из оксидов, поэтому они обладают ионной проводимостью при плавлении, что позволяет использовать для их нагрева токи высокой частоты (1,76—5,2 МГц). При повышении температуры расплава базальта до 400°С начинают снижаться его вязкость, поверхностное натяжение и электросопротивление. При дальнейшем увеличении температуры расплав становится электропроводным. В результате индуцирования токов высокой частоты в расплаве возникают быстро меняющиеся электрические токи, которые приводят к дальнейшему разогреванию расплава и его гомогенизации. При плавлении базальта стенки тигля 5 рисунка 2, охлаждаемые водой, покрываются коркой застывшего расплава, образуя слой гарнисажа, предохраняющего их от взаимодействия с высокотемпературным расплавом, обеспечивая тем самым эффективное плавление базальта без загрязнения расплава материалом тигля [3].

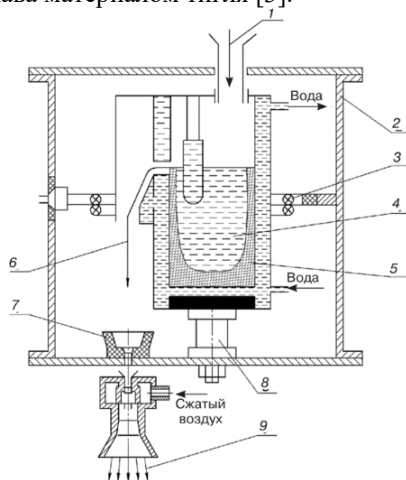


Рис. 2 – Схема индукционной плавильной печи

- 1 – базальт; 2 – корпус; 3 – индуктор; 4 – расплав базальта; 5 – тигель; 6 – струя расплава базальта; 7 – воронка; 8 – домкрат; 9 – волокна

Сравнивая, описанные технологии плавления базальта и получения готового продукта - базальтового волокна, можно сделать вывод о том, насколько это разные и по конструкциям, и по технологиям, и по качеству получения готового сырья агрегаты [4].

Одним из весомых преимуществ газовой вагранки, можно назвать несложность конструкции, незначительные капитальные затраты и простота обслуживания. Недостатком данной технологии является отсутствие процесса гомогенизации в глубинных слоях расплава из-за этого расплав принудительно насыщается газоздушными продуктами горения топлива, обеспечивающими процесс. Также ограничение в температурном режиме, так как, максимально достижимая температура в газовых вагранках составляет всего 1400-1450°С.

Говоря об индукционной технологии, первое, что можно назвать это однородность и качество расплава, получаемого в процессе плавления. Также с экологической точки зрения, производство базальтовых материалов с применением электропечей является более безотходным. Электрические печи, являются наименее требовательными к перерабатываемому сырью, как в постоянном режиме работы, так и при переходе с одного на другое по химическому составу. А также возможность эксплуатации и управления технологическими процессами в широком диапазоне задач. Среди недостатков данной технологии можно назвать относительно большой расход энергии на единицу продукции. Но экспериментальные данные показывают преимущество индукционного способа плавления горных пород так как повышение температуры значительно сокращает общее время и, как следствие, более широкий температурный интервал выработки и лучшее качество волокон. Учитывая все факторы особенностей технологии плавки горных пород базальтовой группы, можно с уверенностью утверждать, что индукционные печи являются наилучшими плавильными установками, обеспечивающими абсолютно все требования качества расплава для его дальнейшей обработки.

Литература:

1. *Кутюлин В.А.* Проблемы петрохимии и петрологии базальтов: учебное пособие для вузов. – Новосибирск.: Изд-во Наука, 1972. – 216 с.
2. *Джигирис Д.Д., Махова М.Ф.* Основы производства базальтовых волокон и изделий: учебное пособие для вузов – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 416 с.
3. *Онос С.П.* О характеристиках базальтовых волокон и областях их применения // Композитный мир. – 2010 №3.
4. *Короновский Н.В.* Практическое руководство по общей геологии: учебное пособие для вузов. – М.: Академия, 2007 – 200 с.

СРАВНЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ ЖЕСТКОГО ПОДВИЖНОГО ТОКОПОДВОДА ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

В.А. Седых, Л.П. Горева

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, fvclay@yandex.ru**

Целью работы было рассчитать активное и индуктивное сопротивление вторичного токоподвода дуговой сталеплавильной печи тремя методиками, построение характеристик и дальнейшее их сравнение. После расчета сопротивлений были построены электрические и рабочие характеристики для двух конструктивных вариантов. Затем путем анализа полученных графиков выбирался лучший конструктивный вариант вторичного токоподвода.

The aim of the work was to calculate the active and inductive resistance of the secondary current supply of an arc steelmaking furnace using three methods build characteristics and further compare them. After calculating the resistances, the electrical and performance characteristics for the two design variants were constructed. Then, by analyzing the obtained graphs, the best design version of the secondary current supply was selected.

Вторичный токоподвод (короткая сеть) – это часть цепи питания между клеммами вторичной обмотки печного трансформатора и дугами, горящими между электродами и расплавом. Сила токов, протекающих через вторичный токоподвод дуговой сталеплавильной печи (ДСП), всегда очень велика (30...100 кА), правильно выбранная конструкция и электрическая схема должны быть такими, чтобы уменьшить падения напряжения и потери. Традиционно участок жесткого подвижного токоподвода вдоль рукава электрододержателя выполнялся в виде трубошин (Рисунок 1). В последние 20 лет широкое внедрение получили токопроводящие рукава (Рисунок 2)[1].

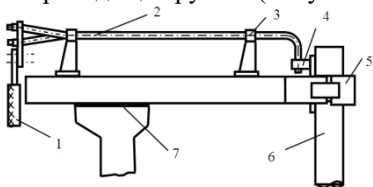


Рис. 1 – Электрододержатель обычного типа: 1 – гибкий кабель; 2 – трубошина; 3 – кронштейн; 4 – головка электрододержателя; 5 – хомут; 6 – электрод; 7 – электрическая изоляция

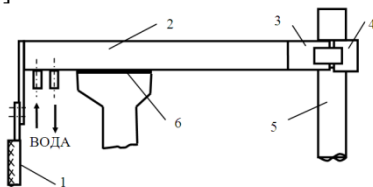


Рис.2 – Электрододержатель с токопроводящим рукавом: 1 – гибкий кабель; 2 – токопроводящий рукав; 3 – головка электрододержателя; 4 – хомут; 5 – электрод; 6 – электрическая изоляция

В зависимости от емкости ДСП, типичные средние значения полного активного и индуктивного сопротивлений вторичного токоподвода следующие: $R=0,5 \div 1,5$ мОм; $X=2,0 \div 5,0$ мОм.

Для сравнения конструктивных исполнений были рассчитаны активное и индуктивное сопротивления вариантов жесткого подвижного токоподвода ДСП емкостью 100 тонн: с токопроводящими биметаллическими (сталь+медь) рукавами и трубошинами. Сопротивления других участков токоподвода и трансформатора были взяты по печи-аналогу.

Расчеты были осуществлены тремя методами: 1) по упрощенным формулам, приведенным в [1]; 2) по методике расчета сопротивлений, изложенной в справочной литературе [2]; 3) при помощи специализированного ПО *KorotSet* для расчета индуктивного сопротивления вторичного токоподвода ДСП, разработанного на кафедре АЭТУ [3].

В результате расчетов активное и индуктивное сопротивление ДСП с трубошинами составили 0,558 и 2,94 мОм, а ДСП с токопроводящими рукавами – 0,55 и 2,61 мОм.

Как правило, ДСП работают в круглосуточном режиме с плановыми/внеплановыми (аварийными) остановками на ремонт и профилактический осмотр. Это предполагает большое потребление электрической энергии, поэтому так важен выбор оптимального режима работы печи. Оптимальный режим выбирается на основе электрических и рабочих характеристик, базой для построения которых являются активное и индуктивное сопротивления токоподвода и вторичное напряжение печного трансформатора. В данной работе оно было принято 980 В.

Сравнительный анализ конструктивного исполнения жесткого подвижного токоподвода был выполнен на основе электрических характеристик, построенных на базе однофазной схемы замещения электропечного контура ДСП (Рисунок 3).

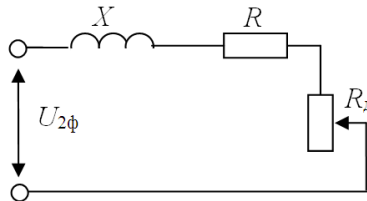


Рис. 3 – Однофазная схема замещения ДСП.

Дуговую установку, с электрической точки зрения, можно представить, как набор активных и индуктивных сопротивлений, которые подключены к питающей сети.

Для сравнительного анализа по сопротивлениям обоих конструктивных вариантов были построены электрические характеристики мощно-

сти электрических потерь, мощности дуги и полной активной мощности (Рисунок 4), рабочие характеристики производительности (Рисунок 5).

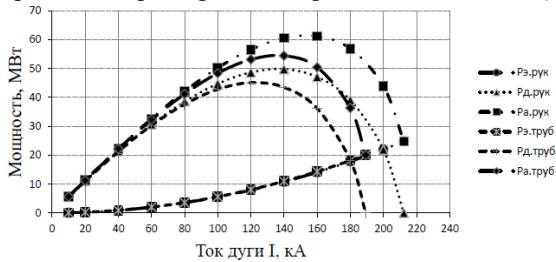


Рис. 4 – Электрические характеристики мощностей ДСП с токопроводящим рукавом и ДСП с трубошинами.

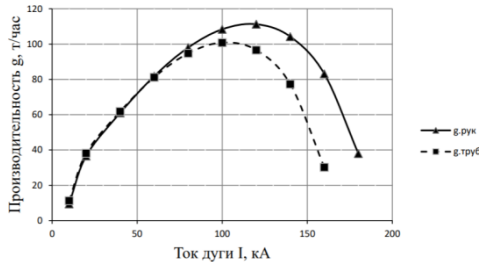


Рис. 5 – Рабочие характеристики производительности ДСП с токопроводящим рукавом и ДСП с трубошинами.

Электрические и рабочие характеристики показывают, что внедрение токопроводящих рукавов на сверхмощных ДСП позволяет увеличить вводимую в рабочее пространство мощность, а следовательно, и производительность печи.

Литература:

1. Бершицкий И.М., Военный В.А., Никулин А.А. Электрододержатели дуговых печей // Электротехнология. – 2001. – № 5. – С. 22–29.
2. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей. Справ. изд./ Данцис Я.Б., Кацевич Л.С., Жилов Г.М., и др./ 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1987. 320 с.
3. Программный комплекс для расчета индуктивных сопротивлений вторичных токоподводов электротехнологических установок / А. И. Алиферов, Р. А. Бикеев, Д. С. Власов, Л. П. Горева, П. В. Домаров // Электротехника. - М.: Изд-во МЭИ (ТУ), 2010. - № 5. - С. 33-37.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОМ

Д.М. Селезнева

Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, energo-dms@rgau-msha.ru

Высокая плотность посадки животных ведет к повышенной запыленности и загазованности помещений. С этой целью необходимо проводить ряд мероприятий по повышению эффективности обеспыливания и обеззараживания сельскохозяйственных помещений. Для решения данной проблемы предлагается усовершенствовать электрофильтр, дополнив установку зоной бактерицидного излучения. Предполагается, что данная установка повысит эффективность обеспыливания и обеззараживания воздушной среды сельскохозяйственных помещений. В данной работе представлены результаты исследования эффективности обеспыливания воздуха от размеров пылевых частиц.

The high density of stocking of animals leads to increased dust and gas pollution of the premises. For this purpose, it is necessary to carry out a number of measures to improve the efficiency of dedusting and disinfection of agricultural premises. To solve this problem, it is proposed to improve the electrostatic precipitator by adding a zone of bactericidal radiation to the installation. It is assumed that this installation will increase the efficiency of dedusting and disinfection of the air of agricultural premises. This paper presents the results of a study of the efficiency of dust removal from the size of dust particles.

В птицеводческих комплексах одной из актуальных проблем является борьба с повышенным пылевыделением от внутренних источников загрязнения. Наиболее перспективными в этом направлении являются двухзонные электрофильтры, способные улавливать частицы в широком диапазоне размеров, имеющие низкое аэродинамическое сопротивление и при этом низкое потребление электроэнергии [1].

Предыдущие результаты исследований электрофильтров показали, что эффективность очистки сельскохозяйственных помещений от пыли составляет от 81,4 до 96,7%, при этом эффективность обеззараживания воздуха от микроорганизмов всего 69,7%.

Разработка комбинированной установки, представляющей двухзонный электрофильтр, дополненный зоной бактерицидного излучения, позволит производить одновременно и пыле- и газоочистку воздуха сельскохозяйственных помещений, являясь при этом маломощным источником потребления электроэнергии и экономически выгодным устройством [2].

Основной характеристикой работы электрофильтра является степень очистки, которая определяется содержанием пыли в воздухе до поступления в электрофильтр и после выхода из него [3]:

$$\eta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 1 - \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

На рисунке 1 представлена схема экспериментального стенда, на котором проводились исследования по влиянию размеров пылевых частиц на эффективность обеспыливания данной установки.

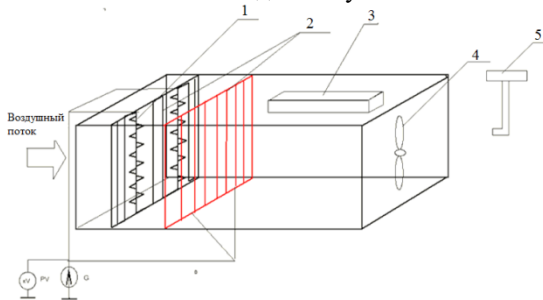


Рис. 1 – Схема экспериментального стенда: 1 – коронирующие электроды; 2 – осадительные электроды; 3 – бактерицидная лампа; 4 – вентилятор; 5 – счетчик аэрозольных частиц ПК.ГТА-0,3-002

Для измерения температуры T и относительной влажности φ воздуха использовался комбинированный прибор БМ-2. Во время проведения экспериментов названные параметры изменялись в следующих диапазонах: $T-20 \dots 25^\circ\text{C}$, $\varphi - 50 \dots 70\%$,

В качестве побудителя воздушного потока использовался осевой вентилятор типа ВН-2 с однофазным электрическим двигателем. Объемный расход воздуха в электрофильтре регулируется путем плавного изменения частоты вращения колеса вентилятора.

Испытания электрофильтра проводилось на естественном аэрозоле воздушной среды лаборатории. Счетная концентрация аэрозоля на входе и на выходе установки измерялась с помощью счетчика аэрозоля ПК.ГТА-0,3-002. Высокое напряжение на электрофильтр подавалось от источника высокого напряжения со схемой (рис.2) и измерялось с помощью киловольтметра С-196.

Коронирующая система зоны зарядки электрофильтра – игольчатые электроды между металлическими пластинами. Игольчатый электрод имеет заостренные выступы на боковых поверхностях игл.

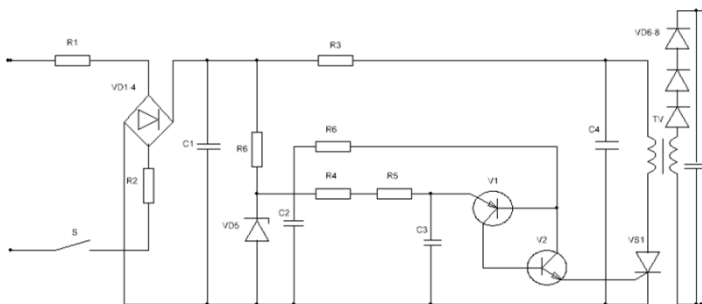


Рис. 2 – Схема генератора высоких импульсов

Некоронирующие электроды зоны зарядки – металлические пластины толщиной 0,8 мм. Межэлектродное расстояние – 10 мм. Входное сечение электрофильтра 178×178 мм, длина по воздуховоду 410 мм. Зона осаждения - рама с металлическими или диэлектрическими пластинами. Межэлектродное расстояние -12 мм. В ходе эксперимента планируется исследовать влияния различного количества рам осадительных пластин на степень эффективности обеспыливания воздуха. Определение степени очистки воздуха в электрофильтре проводилось на естественном аэрозоле воздушной среды лаборатории. Для этого прибором ПК.ГТА-0,3-002 измерялась концентрация пылевых частиц размером 0,5 мкм на входе и на выходе электрофильтра. Значение степени очистки рассчитывалось по формуле (1).

Исследование проводилось при температуре воздуха внутри помещения плюс 20°С, относительной влажности 50%. Скорость потока воздуха на выходе электрофильтра составляла 0,7 м/с.

На рисунке 3 представлены результаты замеров концентрации пылевых частиц размером 0,3...0,8 мкм.

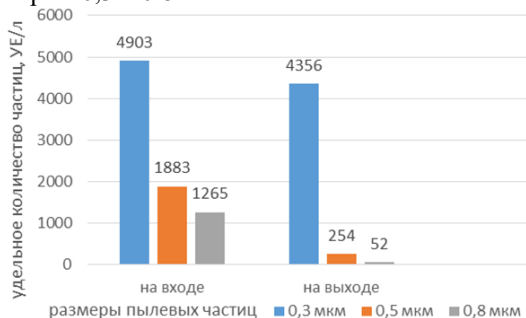


Рис. 3 – Результаты замеров концентрации пылевых частиц размером 0,3 мкм, 0,5 мкм и 0,8 мкм на входе и на выходе электрофильтра

По формуле (1) была рассчитана эффективность очистки воздуха. Результаты расчета эффективности очистки воздуха от пылевых частиц размером 0,3...0,8 мкм приведены на рисунке 4.

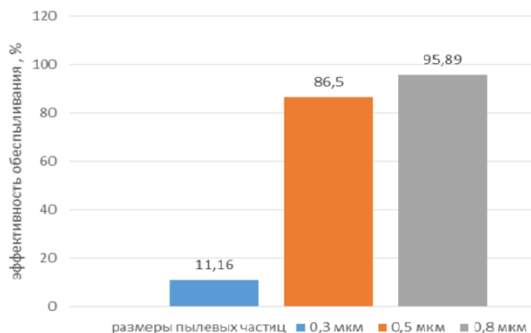


Рис. 4 – Эффективность очистки воздуха от пылевых частиц размером 0,3 мкм, 0,5 мкм и 0,8 мкм на выходе электрофильтра

Данные результаты показывают, что электрофильтр имеет высокую эффективность очистки от пылевых частиц размером 0,5 мкм и выше, но недостаточную эффективность очистки от пылевых частиц размером 0,3 мкм. В связи с этим предлагается изменить конструкцию электрофильтра, дополнив дополнительной зоной осаждения.

Литература:

1. *Селезнева Д.М.* Анализ конструкций электрофильтров для сельскохозяйственных помещений. Доклады ТСХА: Сборник статей. Выпуск 292. Часть I –М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2020. – 132-134 с.
2. *Юферев Л.Ю., Селезнева Д.М.* Совершенствование процессов обеззараживания и обеспыливания воздушной среды сельскохозяйственных помещений на основе электрофильтрации воздуха. М.: Международный технико-экономический журнал, 2019. № 5. С. 42-48.
3. *Звездакова О.В.* Совершенствование двухзонного электрофильтра для очистки воздуха от пыли в сельскохозяйственных помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздушной среды: Дис. канд. техн. наук.- 05.20.02 / ЧГАУ. – Челябинск, 2009. – 164с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ СВЕТОДИОДА НА ОСНОВЕ GaP

О.А. Соловьев

Научный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»,
г. Москва, SolovyevOA@mpei.ru

Целью данного исследования являлось рассмотрение технологического процесса создания светодиода на основе GaP. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: рассмотрены особенности материала GaP; описан технологический процесс создания светодиода на основе GaP; продемонстрирована линейка технологических процессов, необходимых для создания структуры; рассчитаны параметры светодиода на основе GaP.

The purpose of this study was to review the technological process of creating a GaP-based led. To achieve this goal have been resolved following objectives: describes the features of GaP material; described the process of creating led-based GaP; demonstrated the range of technological processes required to create a structure; the calculated parameters of the LEDs based on GaP.

Фосфид галлия - бинарное неорганическое химическое соединение галлия и фосфора. При нормальных условиях оранжево-жёлтые кристаллы. GaP относится к непрямозонным полупроводникам, в которых вероятность межзонных переходов, происходящих с сохранением импульса, пренебрежимо мала, поэтому излучательная рекомбинация в них проходит, как правило, через примесные центры. Введение в GaP оптически активной изоэлектронной примеси, например, азота, позволяет значительно повысить вероятность излучательной рекомбинации в полупроводнике за счет создания этой примесью в запрещенной зоне промежуточного энергетического электрону уровня, с которого гораздо легче рекомбинировать с дыркой. Из GaP, легированного такими примесями, были созданы светодиоды, работа которых основана на соотношении неопределенностей Гейзенберга. При использовании фосфида галлия возможно получить цвета светодиода (табл. 1).

Таблица 1 – Цвета светодиода

Цвет	Длина волны
Красный	$610 < \lambda < 780$
Оранжевый	$590 < \lambda < 610$
Жёлтый	$570 < \lambda < 590$
Зелёный	$500 < \lambda < 570$

Промышленное получение монокристаллического GaP осуществляется в две стадии: синтез-получение крупных поликристаллических

слитков и выращивание монокристаллов по методу Чохральского из расплава, находящегося под слоем флюса.

Монокристаллы *GaP* по параметрам делятся на несколько марок. Монокристаллы n-типа легируются *Te* или *S* или ничем не легируются, монокристаллы p-типа легируются *Zn*, монокристаллы высокоомного *GaP* легируются хромом или другими примесями с глубокой энергией залегания. Следует отметить, что в связи с условиями выращивания (высокая температура, высокое противодавление *P*, наличие флюса, отсутствие стойких контейнерных материалов) монокристаллы *GaP* характеризуются высоким уровнем неконтролируемых фоновых примесей (примерно $5 \cdot 10^{16}$ - $1 \cdot 10^{17}$ см⁻³), а также высокой плотностью дислокации (более 10^4 см⁻²). Поэтому монокристаллы *GaP* не обладают пригодной для практики люминесценцией и для получения светоизлучающих р-п-переходов необходимо выращивать эпитаксиальные слои *GaP*.

Пластины, служащие в качестве подложки будущих кристаллов светодиодов, помещают в специальную герметичную камеру. Такие пластины изготавливают из удобных для наращивания светодиодов материалов. Например, из искусственного сапфира, у которого подходящая для этого кристаллическая решетка. Прежде всего, камеру заполняют смесью газообразных химических веществ на основе полупроводников и легирующих добавок. Затем внутренность такой камеры начинают нагревать. В процессе этого нагрева химические элементы, находящиеся до этого в газообразном состоянии, осаждаются на пластинах.

Процесс длится несколько часов. В итоге на подложке наращивается несколько десятков слоев общей толщиной лишь несколько микрон. Отличие в толщине пластины до и после наращивания не различимо на глаз. Затем с помощью трафарета на пластину напыляются золотые контакты. После чего ее разрезают на мельчайшие части. Каждая такая часть – это отдельный кристалл светодиода со своими контактами. Размеры ее очень малы. По крайней мере, разглядеть ее в деталях можно лишь под микроскопом.

На следующем этапе готовые кристаллы вставляют в корпус. После того, по необходимости покрывают слоем люминофора. Тип корпуса и количество кристаллов зависят от того, где и как данный светодиод будет использоваться. Все светодиоды отличаются друг от друга как отпечатки пальцев. То есть, нет двух идентичных по своим характеристикам светодиодов. Потому на следующем этапе и происходит сортировка светодиодов по двум-трем сотням параметров, чтобы отобрать наиболее близкие друг другу по мощности, цветовой температуре и другим характеристикам светодиоды (рис. 2).

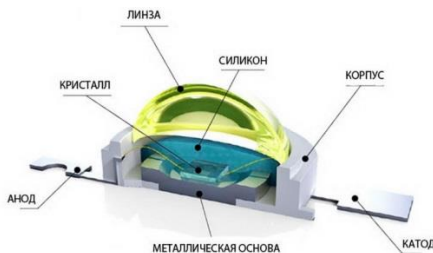


Рис. 2 – структура светодиода

В конце концов, светодиоды проверяют на работоспособность на испытательных стендах, и лишь затем из них изготавливают светодиодные лампы, ленты или используют в других сферах применения.

Расчет параметров светодиода на основе *GaP* осуществляется по следующим основным параметрам светодиода: E – эффективность светодиода; F – световой поток; P – мощность; Ω – телесный угол; α – угол наблюдения; I – сила света.

Эффективность E светодиодов определяется отношением светового потока F , производимого СИД (светоизлучающий диод) к «закачанной» в него мощности P . Это общая эффективность, включающая в себя энергетическую эффективность самого СИД, зависящую от физики работы, материала и конструкции СИД и световую эффективность зрения для спектра излучения данного СИД. Общая эффективность измеряется в люменах (лм) на ватт (Вт):

$$E = F/P, \text{ лм/Вт} \quad (1)$$

Но, так как производители указывают, как правило, в качестве основного светотехнического параметра СИД силу света I , измеряемую в канделах, то нужно пересчитать канделы в люмены. Сила света определяет пространственную плотность (интенсивность) светового потока:

$$I = F/\Omega, \text{ лм/ср} \quad (2)$$

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\alpha/2), \text{ ср} \quad (3)$$

Угол α это и есть угол, приводимый изготовителями панели как угол наблюдения или угол излучения (*viewing angle* или *radiation angle*), определяемый по спаду силы света на 50%.

Для примера был взят L-113GDT (табл. 2). Расчёты эффективности L-113GDT проведены в *Mathcad*:

$$\Omega := 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) = 6.144$$

$$F_s := I \cdot \Omega = 0.031$$

$$P := U \cdot I_t = 0.25$$

$$E := \frac{F_s}{P} = 0.123$$

Таблица 2 – технические параметры светодиода

Технические параметры	
Материал	gаp
Цвет свечения	зеленый
Длина волны, нм	568
Минимальная сила света I_v мин, мКд	2
Максимальная сила света I_v макс, мКд	5
при токе $I_{пр}$, мА	10
Видимый телесный угол, град	110
Цвет линзы	зел. матовый
Форма линзы	прямоугольный
Размер линзы, мм	2x5
Максимальное прямое напряжение, В	2.5
Максимальное обратное напряжение, В	5
Максимальный импульсный прямой ток, мА	30
Рабочая температура, С	-40...85
Вес, г	0.2

Таким образом, эффективность светодиода $L-113GDT$ составляет $E=0.123$ лм/Вт.

Литература:

1. Шалимова, К.В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – СПб.: Изд-во Лань. – 2010. – 384 с.
2. Панов М.Ф., Соломонов А.В., Филатов Ю.В. Физические основы интегральной оптики. – М.: ИД «Академия», 2010 г.
3. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок / Л.А. Коледов. – – СПб.: Издательство «Лань», 2018.
4. Технология производства светодиодов // Завод светодиодных светильников [сайт]. URL: <http://www.glcompany.ru/stati/tekhnologiya-proizvodstva-svetodiiodov.html> (дата обращения 25.09.2020)
5. Принцип работы светодиода // PrincipRaboty.ru [сайт]. URL: <https://principraboty.ru/princip-raboty-svetodiioda/#h2-1> (дата обращения 25.09.2020)
6. История создания светодиодов из GaAsP и GaP, легированных оптически активными примесями // MSD.com.ua [сайт]. URL: <https://msd.com.ua/sovremennye-svetodiiody/istoriya-sozdaniya-svetodiiodov-iz-gaasp-i-gap-legirovannyh-opticheski-aktivnymi-primesyami/> (дата обращения 25.09.2020)

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В СИНХРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ С ДРОБНОЙ ЗУБЦОВОЙ ОБМОТКОЙ

М.В. Абрамов, А.Г. Приступ
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, abramov_mark@bk.ru

В публикации приводятся материалы исследования возможности реализации электромагнитного возбуждения в синхронном генераторе с дробной-зубцовой обмоткой мощностью 16 кВт с целью обеспечения стабильности напряжения на зажимах генератора при изменении величины нагрузки путем регулирования величины тока возбуждения.

In the publication of research materials, the possibility of implementing electromagnetic excitation in a synchronous generator with a fractional-toothed winding with a power of 16 kW in order to stabilize the voltage at the generator terminals when the load changes by regulating the current excitation.

В настоящее время большая часть мировых потребностей в электроэнергии удовлетворяется именно за счет синхронных генераторов (СГ), ввиду присущих им преимуществ. Широкое распространение СГ получили с появлением магнитных материалов с высокими удельными показателями на основе кобальта (Co) и системы NeFeB – “неодимовых магнитов”. Применение современных магнитов в электрических машинах позволяет значительно уменьшить их массогабаритные параметры по сравнению с машинами с электромагнитным возбуждением (ЭМВ) за счет высоких энергетических показателей магнитных материалов [4]. В конструкции синхронных генераторов с постоянными магнитами (СПМ) отсутствует щеточный узел, что повышает надежность электрической машины и упрощает её техническое обслуживание [4]. СПМ активно используются в автономных системах электроснабжения, на мобильных электрических станциях, автотранспорте, в автоматике и многих других сферах [4].

Однако СПМ не лишены недостатков, поток, порожденный постоянными магнитами невозможно изменять, вследствие чего в СПМ отсутствует возможность регулирования напряжения на зажимах при изменении величины нагрузки. Данный факт значительно снижает область применения машин с постоянными магнитами.

Целью работы является исследование возможности замещения СПМ синхронным генератором с электромагнитным возбуждением (СГЭМ) при сохранении низких массогабаритных показателей СПМ, для

обеспечения стабильности напряжения нагрузки за счет изменения величины тока возбуждения.

Основная часть:

Исследование было проведено на примере СГПМ мощностью 16 кВт с дробной-зубцовой обмоткой. Генератор был спроектирован на кафедре “Электромеханика” Новосибирского государственного технического университета в качестве аналога серийному бесщеточному синхронному генератору БГ-16.

При замене возбуждения машины от постоянных магнитов (ПМ) электромагнитным возбуждением допускалось вносить изменения в конструкцию и геометрию ротора, с сохранением уровня индукции в воздушном зазоре (ВЗ), его ширины и условием сохранения выходных параметров генератора.

За уровень магнитной индукции в ВЗ было принято амплитудное значение рабочей гармоники нормальной составляющей индукции. Для её определения в программном пакете FEMM вдоль средней линии ВЗ были сняты значения нормальной составляющей индукции. Полученная функция была разложена в ряд Фурье и выделен её гармонический состав, представленный на рисунке 1, что позволило определить номер рабочей гармоники и её амплитуду.

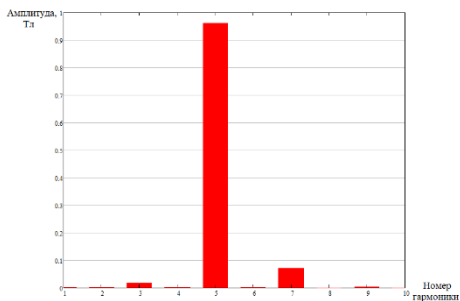


Рис. 1 – Гармонический состав нормальной составляющей индукции в воздушном зазоре

При проектировании ротора, реализующего электромагнитное возбуждение, на языке lua был написан скрипт для автоматизации требуемых расчетов и процесса геометрических построений при изменении размеров полюса генератора и величины плотности тока обмотки возбуждения (ОВ). Результаты расчетов, часть которых представлена в виде графика на рисунке 2, позволили определить оптимальную геометрию полюса и плотность тока ОВ для обеспечения требуемого уровня индукции в ВЗ.

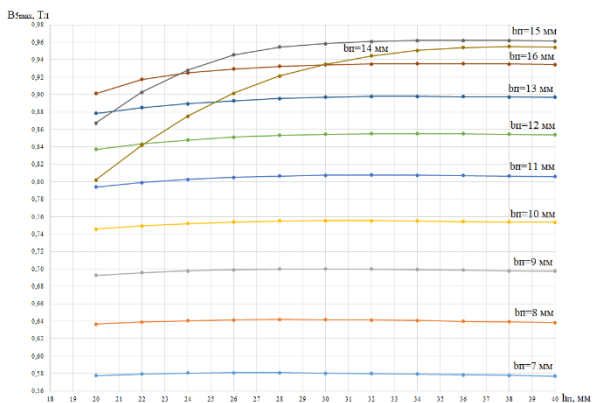


Рис. 2 – График зависимости индукции в ВЗ от высоты полюсного сердечника для разных значений ширины полюса, $J_f=9,6 \cdot 10^6 \text{ A/м}^2$

Тепловой расчет, проведенный в ходе работы с целью определения уровня перегрева изоляции, показал, что применение ОВ с плотностью тока $J_f=9,6 \text{ A/мм}^2$, значительно превышающей рекомендованные в литературе значения, возможно. Результаты теплового расчета представлены на рисунке 4.

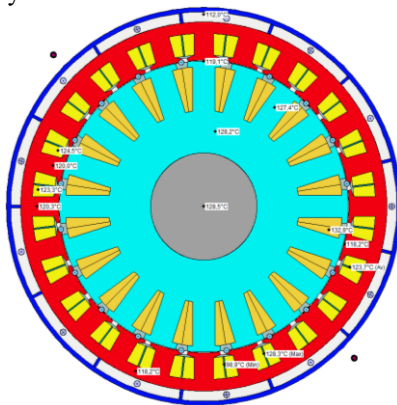


Рис. 3 – Результаты теплового расчета, радиальное сечение

Определение выходных параметров генераторов, снятие внешних и регулировочных характеристик было произведено с использованием программного пакета ANSYS Motor CAD. Результаты показали, что выходные параметры спроектированного СГЭМ не уступают СГПМ

Сравнение внешних характеристик генераторов представлено на рисунке 4.



Рис. 4 – Внешние характеристики генераторов

В работе частично были исследованы причины “мягкости” внешних характеристик. Для подтверждения предположения о высоком значении индуктивного сопротивления реакции якоря был произведен расчет индуктивных сопротивлений по продольной и поперечной осях в исследуемом генераторе. Результат расчета показал, что значения индуктивных сопротивлений генератора находятся в пределах рекомендованных значений.

Результаты исследования продемонстрировали возможность замены постоянных магнитов обмоткой возбуждения, при выполнении требуемых условий. Сформулирована задача по уменьшению номинального изменение напряжения.

Литература:

1. Шевченко А. Ф., Приступ А. Г. Электрические машины с постоянными магнитами: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 60 с.
2. Балагуров, Владимир Александрович. Проектирование специальных электрических машин переменного тока : [Учеб. пособие для электромех. спец. вузов] / В. А. Балагуров. - М. : Высш. школа, 1982. - С. 8-19.
3. Шевченко А. Ф. Многополюсные синхронные машины с дробными q меньше 1 зубцовыми обмотками с возбуждением от постоянных магнитов [Текст] / А. Ф. Шевченко // Электротехника. - 2007. – №9. - С. 3-9.

4. НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ. Сборник научных трудов. В 9 частях. Под редакцией А.В. Гадюкиной. 2019 Издательство: Новосибирский государственный технический университет (Новосибирск). “УЛУЧШЕНИЕ МАССА-ГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА БОРТУ САМОЛЁТА” АБРАМОВ М.В.1, ПРИСТУП А.Г.1.

МЕТОДИКА ВЫБОРА КОЛИЧЕСТВА ВИТКОВ ОБМОТКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА ПРЕССА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.М. Балабанов, В.Ю. Нейман
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, balabanov_a_m@mail.ru

Предметом исследований является разработка методики оптимизационного поиска количества витков электромагнитного привода пресса на основе расчета электродинамических процессов. В качестве объекта исследований рассматривается осесимметричная конструкция электромагнитного привода пресса с комбинированным составным якорем. Получено решение оптимизационной задачи по выбору числа витков обмотки электромагнитного привода пресса на основе анализа его динамических характеристик.

The research subject is the development of a method that optimizes the search for the windings number of the electromagnetic press drive based on the calculation of electrodynamic processes. The research object is an axially symmetric design of electromagnetic drive of the press with a combined composite anchor. It was obtained the solution of optimization problem in which the windings number of the electromagnetic drive of the press is selected on the basis of its dynamic characteristics analysis.

Линейные электромагнитные двигатели широко используются для привода машин и механизмов различного технологического назначения [1].

Особенно актуально их использование в электроприводе прессового оборудования с линейным перемещением рабочих органов [2]. Для этих целей наибольшее распространение получили конструкции цилиндрических электромагнитных двигателей с двумя воздушными рабочими зазорами и комбинированным составным якорем [2, 3]. Вопросы, связанные с расчетами и проектированием подобных

конструкций двигателей хорошо изучены и полно представлены в научной литературе [4–6].

Однако, несмотря на существующие рекомендации для их проектирования методики расчета обладают одним недостатком. Этот недостаток заключается в том, что известные рекомендации по проектированию получены на основании расчета статических характеристик при неподвижном якоре [7, 8].

Например, при определении геометрических размеров электромагнитного двигателя исходят из связи статического электромагнитного усилия и радиуса или диаметра подвижного якоря. Объем занимаемый обмоткой катушки двигателя рассчитывается исходя из установленных оптимальных соотношений геометрических размеров. Необходимое количество витков обмотки и площадь сечения проводника выбирают исходя из объема обмоточного пространства и необходимости задания требуемой намагничивающей силы. Величина намагничивающей силы обмотки определяется исходя из площади сечения стали двигателя и величины допустимой индукции в стальных участках.

В одинаковом объеме, занимаемом обмоткой с проводником величину намагничивающей силы можно изменять с помощью сечения проводника и величины протекающего по проводнику тока. Это дает возможность увеличивать или уменьшать количество витков проводника в пределах заданного обмоточного пространства.

Одинаковое значение намагничивающей силы можно создавать за счет увеличения количества витков проводника при одновременном уменьшении протекающего по проводнику тока. Или за счет уменьшения количества витков проводника и одновременного увеличения протекающего по проводнику тока.

Имеющиеся сегодня рекомендации по проектированию не дают полного ответа по выбору оптимального количества витков обмоточного проводника. Ответ по данному вопросу можно получить только с помощью расчета динамических характеристик электромагнитного двигателя учитывающих динамику процессов [9–11].

Задача дальнейших исследований формулируется следующим образом: разработать метод расчета электродинамических процессов электромагнитного двигателя прессы и выполнить оптимизационный анализ методами конечноэлементного моделирования.

Это позволит получить достаточно точные характеристики электромагнитного поля, учитывающие геометрические размеры двигателя, движение подвижных элементов конструкции, влияние вихревых токов и магнитные свойства конструкционных материалов. По

полученным характеристикам электромагнитного поля могут быть рассчитаны силы, действующие на якорь, что дает возможность определять смещение якоря в каждый момент времени и выполнять необходимые оптимизационные расчеты.

Результаты исследований показывают, что применение метода конечных элементов для решения задачи моделирования электромагнитных полей в электромагнитном двигателе позволяет выполнять расчеты необходимых динамических характеристик работы двигателя с высокой точностью и скоростью.

Расчет динамических характеристик проводится для привода электромагнитного пресса на рис. 1, состоящего из стального цилиндрического статора 1 и цилиндрического составного якоря 2, катушки возбуждения 3.

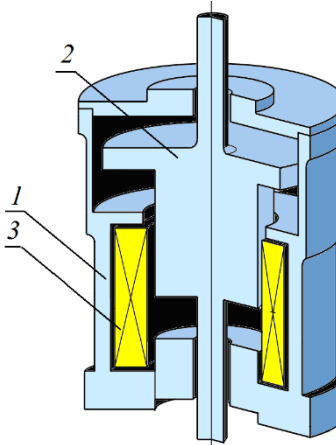


Рис. 1. Электромагнитный привод пресса

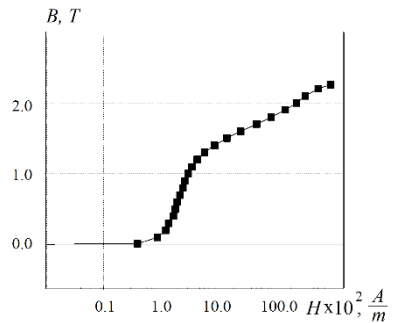


Рис. 2. Кривая намагничивания стали

При подаче импульса напряжения на катушку якорь под действием электромагнитных сил перемещается вниз и наносит удар. По завершении рабочего хода якорь под действием сил возвратной пружины возвращается в исходное положение.

Электромагнитное поле в конструкции двигателя (рис. 1) описывается нелинейной начально-краевой задачей подробно рассмотренной в работе [12], которая является основой расчетной модели программного комплекса. Зависимость индукции B от напряженности магнитного поля H в виде зависимости $B = \mu_d H$ приведена на рис. 2.

Основной вопрос, который решает моделирование динамических характеристик электромагнитного привода прессы, заключается в повышении его силовых и энергетических показателей. Это достигается посредством изучения вопросов влияния на динамические характеристики двигателя его геометрических размеров и свойств, применяемых конструкционных материалов.

При определении оптимального количества витков обмотки двигателя по результатам конечноэлементного моделирования электродинамических процессов в качестве критерия оценки была принята длительность времени перемещения якоря $t_{дв}$ из верхнего начального в нижнее конечное положение. При сокращении времени движения скорость якоря в конце движения увеличивается, что приводит к увеличению кинетической энергии в конце движения.

В исходном положении якорь находится в крайнем верхнем положении за счет упругих сил пружины. При подаче на обмотку катушки импульса напряжения по проводнику протекает ток и создает электромагнитное усилие. Якорь совершает рабочий ход за время $t_{дв}$ и занимает крайнее нижнее положения.

На основе анализа полученных расчетных динамических характеристик установлено существование некоторого оптимума количества витков катушки, для которых время движения якоря электромагнитного привода прессы является минимальным. Показано, что применяемый в работе [12] вычислительный аппарат и реализующий его программный комплекс позволяют на этапе проектирования выполнять точный поиск оптимального числа витков обмотки электромагнитного привода прессы с заданными геометрическими размерами и магнитными свойствами применяемых конструкционных материалов из условия получения максимальной конечной скорости якоря в процессе движения.

Литература:

1. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Низкочастотные ударные электромагнитные машины и технологии // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2014. – №1. – С. 256–259.
2. Ряшенцев Н.П. Электромагнитные прессы / Н.П. Ряшенцев, Г.Г. Угаров, А.В. Львицин – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. – 1989. – 216 с.
3. Прессовое оборудование с линейным электромагнитным приводом для механизации технологических процессов ударной сборки и штамповки мелких изделий / В.А. Аксютин, Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман,

А.А. Скотников // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 220–224.

4. Нейман Л.А. К оценке выбора типа электромагнита по значению конструктивного фактора / Л.А. Нейман, А.А. Петрова, В.Ю. Нейман // Известия вузов. Электротехника. – 2012. – № 6. – С. 62–64.

5. Нейман Л.А., Нейман В.Ю., Шабанов А.С. Упрощенный расчет электромагнитного ударного привода в повторно-кратковременном режиме работы // Электротехника. – 2014. – № 12. – С. 50–53.

6. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. Влияние соотношений главных размеров электромагнитов на значения конструктивного фактора и показателя экономичности // Автоматизированные электромеханические системы: [сб. науч. тр.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – С. 177–187.

7. Нейман В.Ю. Расчет показателя экономичности силового электромагнита постоянного тока с помощью моделирования магнитного поля / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А. Петрова // Транспорт: Наука, техника, управление. – 2008. – № 6. – С. 21–24.

8. Нейман В.Ю. Сравнение способов форсировки импульсных линейных электромагнитных двигателей / В.Ю. Нейман, А.А. Петрова // Электротехника. – 2007. – № 9. – С. 47а–50.

9. Нейман Л.А. Математическая модель электромеханической системы колебательного движения с упругими связями / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. – № 6. – С. 35–40.

10. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Динамическая модель электромагнитного привода колебательного движения для систем генерирования низкочастотных вибраций // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2015. – № 3(28). – С. 75–87.

11. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Моделирование процессов в электромагнитном вибрационном преобразователе с потерями энергии в магнитопроводе // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2016. – Т. 19. – № 1. – С. 73–78.

12. Соловейчик Ю.Г., Персова М.Г., Нейман В.Ю. Конечноэлементное моделирование электродинамических процессов в линейном электромагнитном двигателе // Электричество. – 2004. – № 10. – С. 43–52.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДРОБНЫМИ ЗУБЦОВЫМИ ОБМОТКМИ В КАЧЕСТВЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОБУСА

Г.О. Гейнрих, А.Ф. Шевченко

Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, germangenrich@gmail.com

Работа посвящена выбору типа тягового электродвигателя для электробуса. Заявленная проблема заключается в низкой энергоэффективности энергетической установки современных электробусов. В качестве решения предлагается разработать и внедрить в энергосистему электробуса синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов.

The paper considers to the choice of a traction motor type for an electric bus. The declared problem is in low energy efficiency of power plant of modern electric buses. As a solution it is offered to develop and introduce into the electric bus power system a synchronous motor with excitation from permanent magnets.

Экологические проблемы и ограниченные запасы ископаемого топлива привели к увеличению интереса к альтернативным двигательным системам транспортных средств. С другой стороны, в производстве автомобилей все чаще предъявляются требования к сокращению выбросов вредных газов в соответствии со всё более строгим законодательством. Один автомобиль на бензиновом двигателе – это примерно 120 кг вредных выбросов в год, посчитали эксперты.

Электробусы, как средства общественного транспорта, могут значительно уменьшить проблемы, вызванные движением в городских локациях, за счет использования, среди прочего, инновационных методов и технологий автомобильных двигательных установок [1]. Переход на современный электротранспорт может улучшить не только экологическую ситуацию в городе, но и внешний вид мегаполиса, позволяя демонтировать троллейбусные линии. Кроме того, в отличие от троллейбусов и трамваев – электробусы более мобильны. Они не нуждаются в кабелях и рельсах, поэтому без труда могут объехать любое препятствие, например ДТП, не создавая лишних пробок на без того перегруженных дорогах крупных городов. Источником энергии электробуса служат аккумуляторы большой ёмкости. Как правило используются LTO (литий-титанатные) и LFP (литий-железофосфатные) аккумуляторы, так как стандартные Li-Ion (литийионные) слишком быстро выходят из строя в условиях быстрой (от 5 минут до 1 часа) подзарядки током высокой мощности от специальных зарядных станций,

и имеют меньший диапазон рабочей температуры. Однако и они не лишены недостатков, таких как быстрая разрядка, потеря ёмкости в условиях низких температур. Производители компенсируют эти недостатки установкой аккумуляторов большей мощности, однако, их мощность прямо пропорциональна массогабаритным показателям. Такие компании, как AltairNano и Toshiba разработали аккумуляторы нового поколения с одинаковыми характеристиками работы, как в летнее, так и в зимнее время года [2]. Но на данный момент времени, их стоимость делает применение экономически нецелесообразным. Таким образом особенно остро встаёт вопрос выбора энергоэффективного электродвигателя. Рассматривая технические решения, которые применяются в электробусах, производимых на данный момент в России, можно заметить, что все производители устанавливают асинхронные электродвигатели в качестве тяговых. Такую тенденцию можно объяснить тем, что модельный ряд данного типа двигателей широко представлен на рынке электромеханических преобразователей энергии. Асинхронные двигатели обладают относительно невысокой стоимостью, также они: долговечны, надёжны, просты в регулировании, в них отсутствует искрение. Очень важно, что асинхронные двигатели обеспечивают двузонное регулирование, необходимое для тяговой нагрузки. Асинхронные электродвигатели не лишены ряда недостатков, среди которых в первую очередь следует отметить сравнительно большой намагничивающий ток (до 60 % от номинального), большой пусковой ток (в 5...7 раз больше номинального) и невысокие по современным требованиям энергетические показатели [3]. В Южной Корее выпускается модель электробуса, в которой используется синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов. В последние годы наметилась тенденция к более широкому распространению такого типа двигателей, которые по ряду свойств, превосходят асинхронные двигатели. Постоянное удешевление магнитных материалов, в частности, внедрение сплавов редкоземельных металлов, совершенствование аппаратной базы управления делают возможным использование этого типа двигателей в тех областях, где традиционно применялись другие типы двигателей. Синхронный двигатель с постоянными магнитами обладает следующими достоинствами:

- в пределах примерно 80% рабочего диапазона КПД тягового СДПМ больше на 1-2%, чем у асинхронного двигателя, а удельная мощность - на 30-35%, вследствие чего при равной мощности габариты и масса СДПМ примерно на 30% меньше;

- в асинхронном двигателе имеет место нагрев ротора вследствие наличия мощности скольжения. В СДПМ он фактически отсутствует, благодаря чему нет необходимости в охлаждении ротора;
- постоянный момент на валу, независимо от скорости вращения двигателя;
- простота конструкции и отсутствие потерь на возбуждение;
- применение в СДПМ однозубцовых обмоток с числом пазов на полюс и фазу $q < 1$ позволяет уменьшить длину лобовой части обмотки статора, тем самым сократив расход меди и, соответственно, электрические потери.

К недостаткам синхронных машин относятся, необходимость установки датчиков положения и сложность реализации двузонного регулирования. Однако, учитывая ограничение максимальной скорости городского электробуса, можно считать, что вторая зона является неявновыраженной.

На рис.1 изображен поперечный разрез трехфазной синхронной машины с дробными зубцовыми обмотками с возбуждением от постоянных магнитов.

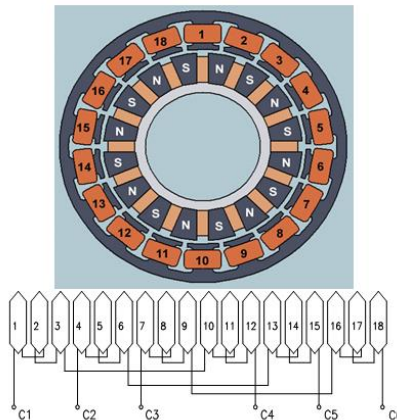


Рис. 1. Конструкция и схема обмотки с $q=3/8$ многополюсной синхронной машины с постоянными магнитами

Особенностью конструкции такой машины является то, что число зубцов статора незначительно отличается от числа полюсов ротора, обычно на $2 \div 4$ полюса. Многофазная обмотка состоит из катушек, размещённых по одной на каждом зубце. Рабочей гармоникой поля в таких двигателях является не первая, период которой совпадает с

периодом обмотки, а высшие (для $q=2/5$ это $p=5$, $q=3/8$ - $p=4$ и т.д.). Период высшей рабочей гармоники близок к величине зубцового деления. Это дает возможность выполнить двигатель с большим числом полюсов, что затруднительно в двигателях с обычными обмотками, особенно при малых диаметрах статора. Практически выполнены машины с числом полюсов от $2p=6$ до $2p=66$ с моментами от 0,1 до 500 Нм. Ротор в таких двигателях целесообразно делать с концентрацией магнитного потока, например "коллекторного" типа.

Отличительной особенностью магнитоэлектрических двигателей с дробными зубцовыми обмотками является высокий удельный момент. Пожалуй, по этому показателю им нет равных среди других типов двигателей. При перегрузке сила, снимаемая с единицы поверхности рашетки статора достигает значений 10 Нм/см^2 . Такие показатели могут быть достигнуты в крупных электрических машинах, например, в турбогенераторах. Если воспользоваться показателем, учитывающим величину момента, массы и тепловые потери в обмотке статора, то его величина достигает значений:

$$M_m / \sqrt{P_{\text{меди}}} G = 0,4 \div 0,5 \text{ Нм} * \text{кг}^{-1} * \text{Вт}^{-0}$$

В настоящее время проводится проектирование тягового двигателя с возбуждением от постоянных магнитов с ротором "коллекторного" типа, пригодного для использования в качестве привода электробуса.

Литература:

1. Zoran Stević New Generation of Electric Vehicles // InTech Design team –2008– Croatia, ISBN 978-953-51-0893-1
2. Шматков В.О. Тенденции развития автономных безрельсовых транспортных средств // Вісник АМУ серія «Техніка» – Випуск 6 – 2013
3. Шевченко А. Ф., Приступ А. Г. Электрические машины с постоянными магнитами: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 60 с.
4. Шевченко А. Ф. Многополюсные синхронные машины с дробными q меньше 1 зубцовыми обмотками с возбуждением от постоянных магнитов / А. Ф. Шевченко // Электротехника. – 2007. – № 9. – С. 3–9

СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МАГНИТОСТАТИКИ

А.В. Марков, В.Ю. Нейман

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, slen@ngs.ru**

На примере решения задач магнитостатики выполнено сравнение программ по расчету магнитного поля в элементах конструкции электромагнитного двигателя имеющего осесимметричную конструкцию и сложный профиль геометрии магнитной цепи. Программы ориентированы на решение полевых задач в двумерных областях с использованием метода конечных элементов. По результатам тестирования дана оценка погрешностям при расчетах и дальнейшему использованию программ для решения задач магнитостатики.

Comparison of the programs for calculating the magnetic field in the structural elements of the electromagnet motor is performed. The electromagnet motor has an axisymmetric design and a complex magnetic circuit geometry. The programs perform 2D calculations using the finite element method. Based on the test results, an assessment of the calculation errors is given. Recommendations on the use of programs for solving problems of magnetostatics are given.

Одной из задач при проектировании конструкций линейных электромагнитных двигателей является обеспечение необходимой силы магнитного взаимодействия между якорем и статором. Силовая характеристика электромагнитного взаимодействия является определяющей при выборе любого электромагнитного двигателя для привода электромеханического устройства [1–4].

Исследования различных конструкций линейных электромагнитных двигателей показывает, что при одинаковых габаритах полезная работа и величина магнитного взаимодействия могут значительно отличаться. Также очевидно, что точный расчет силовых характеристик может быть получен только при наличии строгой математической модели устройства, адекватно реагирующей на изменения его входных параметров.

При наличии сложной пространственной геометрии профиля магнитной цепи аналитические оценки о распределении магнитного поля в окрестностях ферромагнитных участков и определение силовой характеристики их магнитного взаимодействия могут иметь существенную погрешность [5–7].

Силовые взаимодействия в электромагнитных двигателях осуществляются через магнитное поле. Поэтому для изучения силовых взаимодействий для решения задач проектирования наиболее

перспективно использование полевых методов по расчету магнитного поля [8–10].

Существующие сегодня пакеты прикладных программ численного расчета магнитных полей следует рассматривать как универсальный инструмент для решения различных задач, в том числе задач магнитостатики. Отличия существующих программ заключается в различной адаптации численных расчетов магнитных полей под решение конкретных задач. В качестве достоинства программ использующих полевые подходы следует отнести возможность прямого расчета магнитного взаимодействия ферромагнитных тел.

Таким образом, численный расчет магнитных полей является эффективным инструментом точного расчета статических силовых характеристик, которые используются при моделировании динамических процессов линейных электромеханических устройств различного технологического назначения [11–12].

Как правило, расчет силовых взаимодействий между якорем и статором двигателя определяется исходя из предварительного расчета магнитного поля учитывающего геометрию магнитной цепи и насыщение ферромагнитных участков.

Наиболее распространенные методы, применяемые для расчета магнитных полей, являются методы конечных элементов [13–15]. Основными отличиями существующих программ являются имеющие место ограничения, связанные с расчетами магнитного поля под определенный тип задач.

Одной из таких программ для решения задач магнитостатики является программа по расчету двухмерного магнитного поля в осесимметричной конструкции электромагнитного двигателя с двумя воздушными рабочими зазорами и комбинированным составным якорем [14].

Другой программой по расчету двухмерного поля является широко распространенный в открытом доступе пакет FEMM (Finite Element Method Magnetics) [15]. Достоинством пакета являются средства визуального проектирования, облегчающие построение новых моделей.

Целью исследований является оценка применимости указанных программ путем сравнения полученных результатов между собой и с экспериментальными данными на примере решения задачи магнитостатики для осесимметричной конструкции электромагнитного двигателя имеющего сложный профиль геометрии магнитной цепи.

В программе [14], учитывая осесимметричную конструкцию двигателя, решение задачи получено в цилиндрических координатах (r, z) в виде скалярного уравнения

$$-\operatorname{div}\left(\frac{1}{\mu(B)} \operatorname{grad} A_{\varphi}\right) + \frac{A_{\varphi}}{\mu(B)r^2} - \frac{A_{\varphi}}{r} \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{\mu(B)}\right) = J_{\varphi}$$

По найденным из решения скалярного уравнения значениям A_{φ} с учетом краевых условий вычисляются компоненты вектора магнитной индукции B_r и B_z в виде

$$B_r = -\frac{\partial A_{\varphi}}{\partial z}, \quad B_z = \left(\frac{\partial A_{\varphi}}{\partial r} + \frac{A_{\varphi}}{r}\right).$$

Расчетная область осесимметричной модели включает в себя только половину вертикального сечения конструкции. Далее по найденным значениям компонент вектора индукции магнитного поля рассчитывается результирующая сила, действующая на якорь.

Для решения магнитостатической задачи используется метод конечных элементов. Учитывается, что расчетная область в цилиндрической системе координат содержит только прямоугольные подобласти, то для ее дискретизации используются прямоугольные конечные элементы. Выбор прямоугольных элементов обусловлен более простым построением вычислительной схемы для подобластей с $\mu = \mu(B)$.

Программа FEMM реализует на основе метода конечных элементов уравнение, описывающее магнитное поле в двухмерной постановке в виде [15]:

$$\nabla \times \left[\frac{1}{\mu(B)} \nabla \times \vec{A}_{\varphi} \right] = \vec{J}_{\varphi},$$

где \vec{A}_{φ} , \vec{J}_{φ} – составляющие векторного магнитного потенциала и вектора плотности тока.

Магнитная проницаемость является функцией индукции B и определяется через кривую намагничивания материала

$$\mu = \frac{B}{H(B)}.$$

В процессе решения программа FEMM генерирует конечноэлементную структуру, состоящую из элементов образующих треугольники. Результирующая сила взаимодействия якоря и статора определяется через тензор натяжения (напряжения) Максвелла

В качестве примеров на рис. 1 и рис. 2 по результатам конечноэлементного расчета приведены картины магнитного поля в виде линий равного уровня для магнитного потока. Расчет поля выполнен для

одинаковых объемов моделей, положений якоря и величин намагничивающей силы обмоток катушек возбуждения.

На основании тестирования программ конечноэлементного моделирования магнитного поля дана сравнительная оценка погрешности расчета с данными, полученными с помощью физической модели.

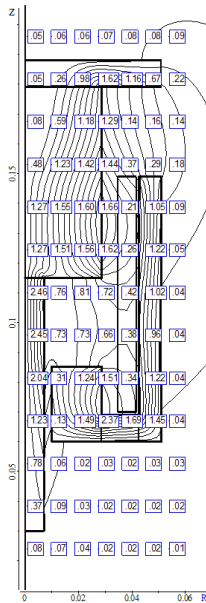


Рис. 1. Картина поля линий магнитного потока в программе NSTU

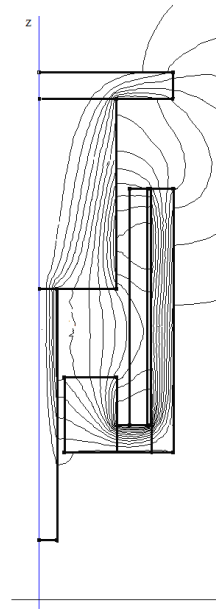


Рис. 2. Картина поля линий магнитного потока в программе FEMM

Установленная ошибка расчета обеих программ соответствует уровню погрешностей измерений и не превышает 3%. Следует только отметить, что программа FEMM [15], имеет более высокую адаптацию при выполнении численных расчетов и содержит более универсальные средства визуального проектирования, облегчающие построение новых моделей.

Литература:

1. Нейман В.Ю. О методике к выбору типа электромагнита по значениям конструктивного фактора / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А.

Петрова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 310–313.

2. Нейман В.Ю. Сравнение способов форсировки импульсных линейных электромагнитных двигателей / В.Ю. Нейман, А.А. Петрова // Электротехника. – 2007. – № 9. – С. 47а–50.

3. Малинин Л.И. Определение напряжения преобразования энергии и электромагнитных сил в электромеханических системах / Л.И. Малинин, В.Ю. Нейман // Электричество. – 2008. – № 6. – С. 57–62.

4. Способы повышения энергетических показателей однообмоточных импульсных устройств с электромагнитным возбуждением / В.Ю. Нейман, Д.М. Евреинов, Л.А. Нейман, А.А. Скотников, Ю.Б. Смирнова // Транспорт: Наука, техника, управление. – 2010. – № 8. – С. 29–31.

5. Нейман Л.А. Применение метода проводимостей для учета силы одностороннего магнитного притяжения асимметричного электромагнита / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 2 (97). – С. 214–218.

6. Нейман В.Ю. К вопросу учета главных размеров при выборе типа электромагнита по значению конструктивного фактора / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А. Петрова, А.А. Скотников, О.В. Рогова // Электротехника. – 2011. – № 6. – С. 50а–53.

7. Нейман Л.А. Повышение точности аналитического расчета радиальных сил одностороннего магнитного притяжения некоаксиальных элементов магнитопровода / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (58). – С. 246–256.

8. Нейман В.Ю. Расчет показателя экономичности силового электромагнита постоянного тока с помощью моделирования магнитного поля / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А. Петрова // Транспорт: Наука, техника, управление. – 2008. – № 6. – С. 21–24.

9. Нейман Л.А. К оценке выбора типа электромагнита по значению конструктивного фактора / Л.А. Нейман, А.А. Петрова, В.Ю. Нейман // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 62–64.

10. Нейман В.Ю. Влияние соотношений главных размеров электромагнитов на значения конструктивного фактора и показателя экономичности / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А. Петрова // Автоматизированные электромеханические системы: [сб. науч. тр.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – С. 177–187.

11. Нейман Л.А. Динамическая модель электромагнитного привода колебательного движения для систем генерирования низкочастотных

вибраций / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2015. – № 3(28). – С. 75–87.

12. Нейман Л.А. Математическая модель электромеханической системы колебательного движения с упругими связями / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. – № 6. – С. 35–40.

13. Соловейчик Ю.Г. Конечноэлементное моделирование электродинамических процессов в линейном электромагнитном двигателе/ Ю.Г. Соловейчик, М.Г. Персова, В.Ю. Нейман // Электричество. – 2004. – № 10. – С. 43–52.

14. Соловейчик Ю.Г. Оптимизация геометрии линейных электромагнитных двигателей с использованием конечноэлементного моделирования магнитного поля / Ю.Г. Соловейчик, В.Ю. Нейман, М.Г. Персова, М.Э. Рояк, Ю.Б. Смирнова, Р.В. Петров // Известия вузов. Электромеханика. – 2005. – № 2. – С. 24–28.

15. Meeker D. Finite Element Method Magnetics. User's Manual. Version 4.0; June 17, 2004 (<http://feem.foster-miller.com>).

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

А.В. Марков, В.Ю. Нейман

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, slen@ngs.ru**

Разработана математическая модель технологической вибрационной установки с электромагнитным возбуждением для анализа динамических процессов. Основу модели составляют дифференциальные уравнения электрического и механического равновесия электромеханической системы, учитывающие степень подвижности инерционных масс, свойства упругих связей, нелинейность характеристик магнитных материалов, потоки рассеяния и потери энергии. Результаты исследований представляют интерес для специалистов в области вибрационной техники, динамики прочности машин и аппаратов.

A mathematical model of a technological vibration plant with electromagnetic excitation has been developed for the analysis of dynamic processes. The model is based on differential equations of electrical and mechanical equilibrium of an electromechanical system. The equations take into account the degree of mobility of inertial masses, properties of elastic bonds, nonlinearity of characteristics of magnetic materials, leakage fluxes and energy losses. The research results are of interest to

specialists in the field of vibration technology, strength dynamics of machines and devices.

Вибрационные машины и установки с электромагнитным возбуждением широко используются в вибростендах, виброкомпрессорах, вибронасосах и других технологических установках [1].

Такие машины и установки функционируют в широком диапазоне частот. Также в широких пределах изменяются амплитуды вибраций. На низких частотах (25 – 100 Гц) до 3...6 мм, а на высоких частотах, более 100 Гц, до десятых долей миллиметра.

Очевидно, что для подобных вибрационных установок амплитуда вибрации в значительной степени зависит от дополнительной присоединенной массы [2, 3]. Величина присоединенной массы может достигать веса вибрационной установки.

Таким образом, технологическая вибрационная машина или установка с электромагнитным возбуждением представляет собой устройство, создающее механические колебания реактивной массы (сердечника) и связанными с реактивной массой рабочим телом и присоединенной дополнительной массой. При этом должно соблюдаться требуемое соотношение между амплитудой и частотой механических колебаний сердечника электромагнитной вибрационной установки.

По сравнению с иными типами вибрационных приводов электромагнитный вибрационный линейный привод имеет целый ряд преимуществ. Основными преимуществами являются: большой ресурс работы, высокая надежность, простая реализация независимого управления амплитудой и частотой колебаний, высокий КПД при работе на частоте резонанса [4, 5].

Вопросам расчета динамики вибрационных технологических машин уделяется значительное внимание. В своем большинстве существующие расчеты основаны на получении упрощенных аналитических соотношений, отражающих взаимодействия элементов механических колебательных систем. Современными средствами проектирования подобных вибрационных установок следует считать создание математических моделей, максимально отражающих совокупности динамических свойств и взаимодействий элементов конструкции механической системы [6–9].

Поэтому построение математической модели технологической вибрационной установки является решением актуальной задачи.

Целью исследования является разработка математической модели технологической вибрационной установки с электромагнитным

возбуждением, учитывающей особенности динамических свойств механической колебательной системы с двумя степенями свободы.

Общая схема построения технологической вибрационной установки с электромагнитным возбуждением представлена на рис. 1.

Вибрационная установка содержит корпус 1, установленный в корпусе электромагнитный привод, состоящий из магнитопровода 2, закрепленных на магнитопроводе катушек возбуждения 3, 4 и подвижного сердечника 5. Подвижный сердечник 5 закреплен на штоке 6 и жестко связан с упругим амортизатором 6. Для обеспечения соосности при вертикальных движениях сердечника установлена диафрагма 8, выполненная из эластичного материала. На конце штока 6 закреплена платформа 9, к которой крепится присоединенная масса 10. Платформа 9 является рабочим органом вибрационной установки.

Для гашения вертикальных вибраций и снижения негативного влияния установки на окружающую среду между корпусом 1 и установочной поверхностью платформы 11 применяются виброизоляторы 12, 13.

При протекании периодического тока по катушкам возбуждения 3, 4 сердечник 5 под действием сил электромагнитного поля и упругих сил амортизатора 7 совершает вертикальные колебательные движения.

Рассматривая движение взаимодействующих масс, колебательная система имеет две степени свободы ($N = 2$).

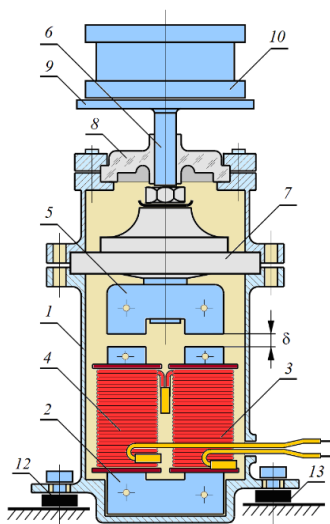


Рис. 1. Технологическая вибрационная установка с электромагнитным возбуждением

В результате установленных связей в электромеханической системе разработана математическая модель технологической вибрационной установки в виде следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} u(t) = i r + \frac{d\psi(i, \delta)}{dt}; \\ (m_1 + m_3) \frac{d^2 x_1}{dt^2} + b_1 \left(\frac{dx_1}{dt} - \frac{dx_2}{dt} \right) + k_1 (x_1 - x_2) = -f_{\text{эм}}(i, \delta); \\ m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} - b_1 \left(\frac{dx_1}{dt} - \frac{dx_2}{dt} \right) - b_2 \frac{dx_2}{dt} - k_1 (x_1 - x_2) + k_2 x_2 = f_{\text{эм}}(i, \delta), \end{cases}$$

где $u(t)$ – напряжение на катушке возбуждения; $\psi(i, \delta)$ – потокосцепление катушки; r – активное сопротивление катушки; m_1 , m_2 и m_3 – инерционные массы подвижного сердечника, магнитопровода с катушкой возбуждения и присоединенной массы; k_1 , k_2 – коэффициенты жесткости упругих связей; b_1 , b_2 – коэффициенты вязкого трения упругих связей; $f_{\text{эм}}(i, \delta)$ – электромагнитная сила.

Полученная математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений позволяет производить оценку изменения колебательных свойств рабочего органа технологической вибрационной установки и присоединенной к нему дополнительной массы для решения различных задач динамики. Для расчета математической модели можно воспользоваться подходами, которые основаны на использовании аппарата структурного моделирования в среде Matlab Simulink [10].

Для расчета массива значений статических параметров потокосцепления $\psi(i, \delta)$ и электромагнитного усилия следует воспользоваться стандартными программами конечноэлементного моделирования, например FEMM. Примеры подобного расчета рассмотрены в работах [11–13].

Таким образом, по результатам выполненных исследований разработана математическая модель технологической вибрационной установки с электромагнитным возбуждением с двумя степенями свободы. На основе полученной системы дифференциальных уравнений предложена технология построения модели с применением методов структурного моделирования в Matlab Simulink. Для повышения точности модели произведен учет подвижности инерционных масс, а также процессов рассеяния энергии за счет сил вязкого трения упругих связей. Результаты исследований представляют определенный интерес для специалистов в области моделирования вибрационных установок с

электромагнитным возбуждением, в области динамики прочности машин и аппаратов, и вибрационной защиты.

Литература:

1. Вибрации в технике: Справочник. Т.4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
2. Нейман Л.А. Расчет динамики электромагнитного привода колебательного движения с однополупериодным выпрямителем / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Вестник МЭИ. – 2016. – № 6. – С. 64–71.
3. Neyman L.A. Simulation of processes in an electromagnetic converter with energy loss in the massive magnetic core / L.A. Neyman, V.Y. Neyman, A.S. Shabanov // The 17 international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, EDM 2016: proc., Altai, Erlagol, 30 June – 4 July 2016, Novosibirsk: NSTU, 2016. – P. 522–525.
4. Нейман В.Ю. Сравнение способов форсировки импульсных линейных электромагнитных двигателей / В.Ю. Нейман, А.А. Петрова // Электротехника. – 2007. – № 9. – С. 47а–50.
5. Нейман В.Ю. Тенденции в развитии конструкций синхронных двухобмоточных электромагнитных машин для импульсных технологий / В.Ю. Нейман, А.А. Скотников, Л.А. Нейман // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы II междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ. – 2011. – С. 271–277.
6. Нейман Л.А. Динамическая модель электромагнитного привода колебательного движения для систем генерирования низкочастотных вибраций / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2015. – № 3(28). – С. 75–87.
7. Neyman L. A. Vibration dynamics of an electromagnetic drive with a half-period rectifier / L.A. Neyman, V.Y. Neyman, A.S. Shabanov // The 18 international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, EDM 2017: proc., Altai, Erlagol, 29 June - 3 July 2017. – Novosibirsk: NSTU, 2017. – P. 503–506.
8. Нейман Л.А. Математическая модель электромеханической системы колебательного движения с упругими связями / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. – № 6. – С. 35-40.
9. Нейман Л.А., Моделирование процессов в электромагнитном вибрационном преобразователе с потерями энергии в магнитопроводе / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2016. – Т. 19. – № 1. – С. 73–78.
10. Neyman L.A. Dynamic model of a vibratory electromechanical system with spring linkage / L.A. Neyman, V.Y. Neyman // Proceedings

2016 11th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2016. – 2017. – P. 23–27.

11. Нейман В.Ю. Расчет показателя экономичности силового электромагнита постоянного тока с помощью моделирования магнитного поля / В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А. Петрова // Транспорт: Наука, техника, управление. – 2008. – № 6. – С. 21–24.

12. On the question of taking into account the main dimensions when selecting type of electromagnet according to value of constructive factor / V.Y. Neiman V.Y., L.A. Neiman, A.A. Petrova, A.A. Skotnikov, O.V. Rogova // Russian Electrical Engineering, 2011. – vol. 82. – num. 6. – P. 328–331.

13. Нейман Л.А. К оценке выбора типа электромагнита по значению конструктивного фактора / Л.А. Нейман, А.А. Петрова, В.Ю. Нейман // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 62–64.

ТОРЦЕВОЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ С АРС СТАТОРА ДЛЯ БОЛИДА «ФОРМУЛА СТУДЕНТ»

Р.О. Никулин, Д.М. Топорков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, roma99352@gmail.com**

В данной работе описаны преимущества торцевого двигателя с активным распределенным слоем статора в качестве силового агрегата, а также описан процесс выбора мощности и момента, необходимых для участия в гонках.

This paper describes the advantages of an effective distributed layer of stator axial flux motor as a powertrain, and describes the process of choosing the power and torque required for racing.

На данный момент класс электрических спортивных болидов мелких серий, таких как «Формула студент», начинает обретать все большей популярностью ввиду их моментных и экологических показателей. В спортивных болидах внутренне пространство и масса сильно ограничены, так как от этого зависит их результативность. Использование безредукторного привода позволяет экономить как внутреннее пространство, так и массу движительной установки. Для правильной управляемости болида необходимо использовать электронный дифференциал, что подразумевает установку двух электродвигателей. При такой компоновке главным фактором является длина двигателя. Торцевые электродвигатели ввиду их меньших осевых габаритов, а также меньшей массой в сравнении с двигателями радиального типа, станут отличным решением для установки в

спортивный болид. Однако двигатели с постоянными магнитами имеют весомый негативный эффект пульсаций момента, который практически исключает движение накатом. Решением данной проблемы послужит активный распределенный слой. На разрабатываемом двигателе будет установлен однозубцовый активный распределенный слой. Главной задачей работы будет являться исследование слоя: его толщина, а также количество элементарных проводников.

Перед началом проектирования необходимо рассчитать мощность и момент, необходимые болиду для участия в гонках. Для этого была взята испытательная трасса «Eurogating», с известными скоростями прохождения различных участков при эталонном проезде. Для каждого участка были рассчитаны время и ускорения, позволяющие в дальнейшем посчитать момент. Для расчета момента требуется рассчитать различные силы: сопротивления разгону, сопротивления воздуху и сопротивления качению. После чего была построена диаграмма момента, включающая интервальный и эквивалентный момент (Рисунок 1).

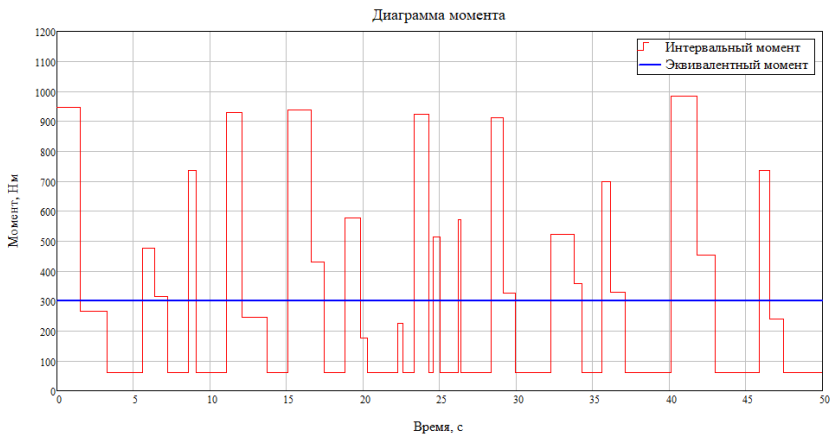


Рис. 1 – Диаграмма момента

Из результата расчетов видно, что необходимый момент одного двигателя должен составлять 150 Нм, расчет производился с учетом того что при торможении двигатель будет развивать 30% тормозного усилия за счет рекуперации. Для достижения скорости в 120 км/ч, при диаметре колеса 0,52 м, номинальная частота вращения двигателя должна составлять 1500 об/мин, а номинальная мощность 24 кВт.

Литература:

1. Щуров Н.И. Теория электрической тяги: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 100 с.
2. Грашина Д.В. Разработка электроболида с учётом регламента «Формула Студент»: ВКР; науч. рук. к.т.н. Илимбетов Р.Ю.; Южно-Уральский государственный университет – Челябинск 2017.
3. Федий К.С. Низкоскоростной торцевой синхронный генератор автономных источников электроснабжения: дис. к.т.н.; науч. рук. к.т.н. Встовский А.Л.; Сибирский федеральный университет – Красноярск 2007.

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКИ

Б.Н. Павленко, А.Г. Долгих

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, boris.11.08.1996@gmail.com

Предложен подход к определению ЭДС ленточной катушки моментного двигателя. Численные исследования проводятся с помощью программного продукта COMSOL Multiphysics. Наведение электродвижущей силы в элементе катушки – пластине моделируется приложением потенциалов и плотности внутреннего тока.

The approach to the EMF determination of the tape winding torque motor is proposed. Numerical studies are carried out using the COMSOL Multiphysics software. The induction of the electromotive force in the winding element – the plate is modeled by applying potentials and inward current density.

Разработка двигателя с ленточной катушкой [1] является новым, оригинальным подходом к созданию современных исполнительных устройств систем автоматики, в связи с чем стоит задача аналитического и натурного исследования такого двигателя, определения его эксплуатационных характеристик. Данная работа посвящена численному анализу электродвижущей силы ленточной катушки. Определение величины ЭДС для обмотки традиционного исполнения, где все ее элементы представляют сосредоточенные проводники, сложности не представляет [2]. Для моментного двигателя с ленточной катушкой определение ЭДС затруднительно, так как в элементах катушки (пластинах) невозможно выделить сосредоточенные проводники, в которых при движении магнитов наводится ЭДС. В данном случае пластину следует рассматривать как совокупность элементарных проводников, вид которой соответствует линиям элементарных токовых линий, протекающих по пластине при подаче на отдельные части ее

границ электрических потенциалов. Характер протекания по пластине распределенного тока можно получить с помощью программных продуктов, реализующих в частности, методы конечных элементов решения уравнений в частных производных. На рисунке 1а представлен вид токовых линий в теле пластины, полученных с помощью программного продукта COMSOL Multiphysics.

На рис. 1б показана модель пластины, построенная в графическом окне COMSOL. Здесь условно показано текущее положение перемещающегося над пластиной постоянного магнита N, который при скорости V его относительного перемещения наводит ЭДС в элементарных проводниках, находящихся в зоне действия магнитного потока

$$E = B \cdot b \cdot V, \quad (1)$$

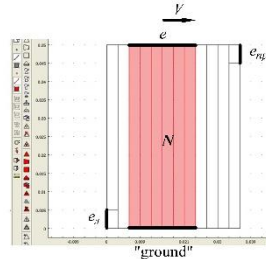
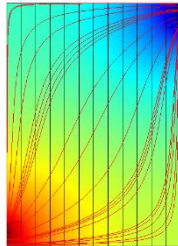
где B – индукция однородного магнитного потока;

b – длина элементарных проводников, равная ширине ленты;

$V = R_{cp} \cdot \omega$ – скорость движения магнита;

R_{cp} – средний радиус витков катушки;

ω – угловая частота вращения ротора моментного двигателя.



а)

б)

Рис. 1 – токовые линии в пластине

Эффект действия наведенной ЭДС создается приложением разности потенциалов на верхней и нижней (как на рисунке) границах пластины, находящихся в зоне действия магнитного потока: e и «ground». При этом на контактах пластины появляются потенциалы, разность которых будем называть противоЭДС пластины e_n . Учтем, что общая противоЭДС катушки состоит из суммы противоЭДС последовательно соединенных отдельных пластин.

Для численного моделирования процесса наведения противоЭДС заданы геометрические параметры пластины: длина пластины 36 мм, ширина 50 мм, толщина 0,1 мм. Размер контакта 5 мм. Размер магнита: длина 18 мм, ширина 50 мм. Поверхность пластины разбита на 12

подобластей, объединяя верхние и нижние границы которых по 6 элементов и задавая им потенциалы, моделируется перемещение магнита. Считаем, что скорость движения магнита такова, что на краях элементарных проводников, наводится ЭДС, равная $E=1$ В. После решения задачи определяется значение интеграла потенциала по длине контакта, затем делением интеграла на длину контакта находится среднее значение потенциала на этом контакте. В таблице приведены результаты исследований, когда постоянный магнит находится полностью над пластиной, т.е. когда его центр перемещается от точки $x=9$ мм до $x=27$ мм; в остальных точках действие магнита противоположной полярности моделировано приложением к границам пластины плотности «внутреннего» тока $\pm j$ с помощью опции «inward current flow». Необходимые величины плотности тока найдены путем последовательного перебора значений до тех пор, пока разность создаваемых потенциалов не станет равной 1 В. В таблице приведены потенциалы e_l левого и e_{np} правого контактов, e_n – разность потенциалов контактов пластины.

Таблица 1 – потенциалы контактов пластины

x , мм	e_l , В	e_{np} , В	e_n , В	$\pm j$, А/м ²
0	0,0458	0,0298	-0,016	$\pm 3,206 \cdot 10^9$
3	0,0703	0,0895	0,019	$\pm 4,215 \cdot 10^9$
6	0,0626	0,1559	0,093	$\pm 6,92 \cdot 10^9$
9	0,0544	0,695	0,641	
12	0,085	0,731	0,646	
15	0,133	0,772	0,639	
18	0,182	0,818	0,636	
21	0,228	0,867	0,639	
24	0,269	0,915	0,646	
27	0,305	0,946	0,641	
30	0,8438	0,9374	0,092	$\pm 6,92 \cdot 10^9$
33	0,9104	0,9226	0,019	$\pm 4,215 \cdot 10^9$
36	0,9472	0,9493	0,002	$\pm 3,206 \cdot 10^9$

На рис. 2 результаты численных исследований приведены в виде зависимости $e_n(x)$. Заменив площадь криволинейной трапеции равновеликим прямоугольником с основанием, равным полусному делению $\tau=36$ мм, получим среднее значение ЭДС $e_{ncp}=0,4$ В. Если на верхней и нижней границах пластины наводятся ЭДС, равные 1 В, то на контактах пластины появится разность потенциалов, равная 0,4 В. Эти величины связаны коэффициентом связи (передачи) ЭДС $k_e = e_{ncp} / 1 = 0,4$.

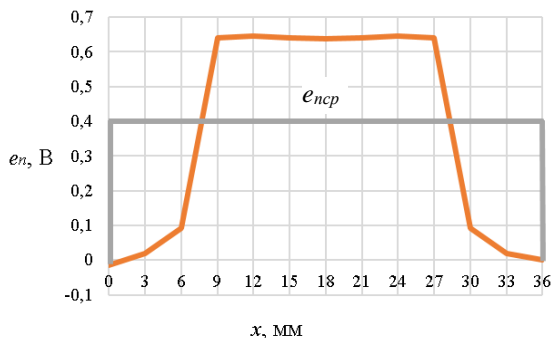


Рис.2 – зависимость наведенной ЭДС от положения центра магнита

Отсюда следует, что средняя противоЭДС пластины связана с ЭДС, наведенной в элементарных проводниках (1) следующим образом

$$e_{ncp} = k_e \cdot E = 0,4 \cdot B \cdot b \cdot R_{cp} \cdot \omega. \quad (2)$$

Соответственно, ЭДС ленточной катушки определится как

$$e_n = p \cdot n \cdot e_{ncp} = k_e \cdot p \cdot n \cdot B \cdot b \cdot R_{cp} \cdot \omega, \quad (3)$$

где p – число пар полюсов магнитной системы двигателя;

n – число витков катушки.

С целью проверки полученных результатов разработана и изготовлена установка, показанная на рис. 3; в настоящее время проводится ее настройка.



Рис. 3 – экспериментальная установка

В связи с тем, что по пластине, изготовленной из фольгированного стеклотекстолита будут протекать большие токи (50-100 А), низковольтные источники постоянного тока применить затруднительно, поэтому принято решение исследования проводить с использованием переменного тока. Результаты предварительных исследований

отличаются от полученных численным путем не более чем на 20 процентов.

Полученные в процессе исследований результаты позволят оценить влияние противоЭДС ленточной намотки на характеристики моментного двигателя.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-79-00055).

Литература:

1. Долгих А.Г., Мартемьянов В.М., Бороков В.Н., Активный ленточный элемент моментного электродвигателя//Завалишинские чтения'17: сборник докладов/СПб.: ГУАП, 2017. С. 144-151.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978. - 832 с.

ПОНЯТИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

И.С. Ермолов, А.А. Раджапов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, aleksej.radzhapov@bk.ru**

На основании анализа научно-технической литературы представлены основные пути повышения энергоэффективности асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, дана характеристика их классов энергоэффективности.

Based on the analysis of scientific and technical literature, the main ways of improving the energy efficiency of induction motors with a squirrel-cage rotor are presented, the characteristic of their energy efficiency classes is given.

Понятие «энергоэффективность» определено ГОСТ Р 54413-2011 и означает оптимальное использование энергии, благодаря которому достигается снижение ее потребления при идентичной мощности нагрузки.

Основным показателем энергоэффективности электродвигателя является его коэффициент полезного действия. Очевидно, чем выше коэффициент полезного действия (соответственно ниже потери мощности), тем меньше энергии потребляет электродвигатель из сети для создания той же механической мощности. Ключом к получению более высокого значения коэффициента полезного действия является ограничение потерь.

Особые требования к энергоэффективности предъявляются к асинхронным двигателям с короткозамкнутым ротором, которые широко используются в регулируемых электромеханических системах переменного тока. В соответствии с ГОСТ Р 54413-2011 (International Electrotechnical Commission) различают 4 класса энергоэффективности:

- IE1 – это стандартный тип,
- IE2 – высокая группа эффективности,
- IE3 – сверхвысокий класс,
- IE4 – премиум класс.

Зависимость коэффициента полезного действия в функции мощности электрического двигателя показана на рисунке 1.

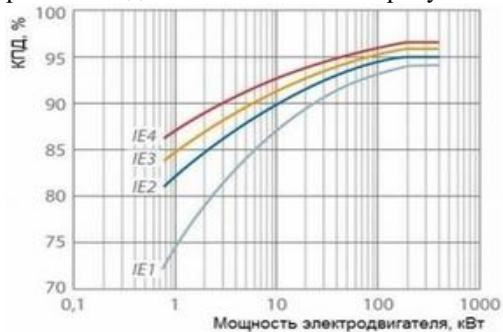


Рис.1 - Зависимость КПД от мощности двигателя

Следует отметить, что с ростом энергоэффективности увеличивается и срок службы двигателя.

На основании анализа научно-технической литературы, касающейся вопроса обеспечения энергоэффективности электрической машины любого типа, в том числе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, выделено шесть основных направлений повышения энергоэффективности:

- применение электротехнических сталей с улучшенными магнитными свойствами и уменьшенными магнитными потерями;
- использование дополнительных технологических операций (например, отжиг для восстановления магнитных свойств стали);
- использование изоляции с повышенной теплопроводностью и электрической прочностью;
- улучшение аэродинамических свойств и снижение вентиляционных потерь;
- использование высококачественных подшипников;

- увеличение точности обработки и улучшение качества изготовления узлов и деталей двигателя.

Еще одним важным параметром, характеризующим энергоэффективность электродвигателя, является коэффициент мощности. Коэффициент мощности определяет долю активной мощности в полной, поступающей в электродвигатель из сети. При этом только активная мощность преобразуется в полезную мощность на валу, реактивная мощность предназначена для создания электромагнитного поля. Отсюда следует, что низкие значения коэффициента мощности значительно ухудшают показатели энергоэффективности асинхронного двигателя (энергетический коэффициент полезного действия есть произведение коэффициента полезного действия на коэффициент мощности).

Заключение:

1. Следует отметить, что повышение энергоэффективности является одной из актуальных задач, учитывая большое количество асинхронных двигателей, применяемых в электрических приводах переменного тока.

2. На основании анализа научно-технической литературы выделены основные направления повышения энергоэффективности, наиболее используемые в практической деятельности.

3. Оценка себестоимости асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором представляет собой отдельную задачу. Целесообразно отметить, что некоторые направления являются материалозатратными, а другие требуют дополнительного нового оборудования.

Литература:

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э.Кравчик / М.М.Шлаф / В.И.Афонин / Е.А.Соболевская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с

2. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общ. Ред. И.П.Копылова и Б.К. Клокова. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

3. ГОСТ Р 54413-2011. Машины электрические вращающиеся. Часть 30. Классы энергоэффективности односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (код IE).

4. Шумов Ю.Н. Энергоэффективные электрические машины // Электричество. - №4. – 2015 С. 3236

5. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интер – У 59 электро / В.И. Радин, Й. Лондин, В.Д. Розенкном и др.; Под ред. В.И. Радина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.:

6. Темлякова З.С., Шевченко А.А., Гречкин В.В. Исследование эксплуатационных свойств асинхронного двигателя на основе численного моделирования // Электротехника. Электротехнология. Энергетика (ЭЭЭ-2015) = Electrical engineering. Electrotechnology. Energy (EEE-2015) : сб. науч. тр. 7 междунар. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 9–12 июня 2015 г. В 3 ч. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – Ч. 1. Секция «Электротехника». – С. 79-82.

УПРАВЛЯЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ МОЩНОСТЬЮ 15 КВТ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Р.А. Сапаров

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, rustam.saparov.2014@mail.ru**

Работа посвящена выбору конструкторских решений для асинхронного двигателя мощностью 15 кВт, благодаря которым увеличатся его энергетические показатели. В процессе работы предлагается сделать обзор современных материалов активных частей электрических машин, сформировать выводы о целесообразности их применения для повышения энергоэффективности.

The paper is devoted to the choice of design solutions for an asynchronous motor with a power of 15 kW, due to its increased energy performance. In the process of work, it is proposed to review modern materials of active parts of electrical machines, to form conclusions about the appropriateness of their use to increase efficiency.

Внедрение управляемых электроприводов в различные отрасли промышленности и сельского хозяйства обуславливается к постоянно растущим требованиям к качеству технологических и производственных процессов.

Такое повсеместное использование сделало современный электропривод не только основной энергосиловой установкой, которая способна обеспечивать исполнительные механизмы механической энергией, но и средством управления технологическими процессами, так как задачи по реализации качества производственных процессов в настоящее время в большинстве случаев возлагаются на системы управления регулируемые электроприводами в сочетании с системами технологической автоматике.

Развитие математической теории машин переменного тока, создание усовершенствованных силовых полупроводниковых приборов и преобразователей на их основе, использование современных средств

управления, включая микропроцессорные, позволили создать высококачественные и надежные системы регулируемых асинхронных электроприводов, которые становятся основным видом регулируемого электропривода. Как указывается в [2], в 2002 г. на европейском рынке из общего числа продаваемых регулируемых приводов электроприводы переменного тока составили 68 %, электроприводы постоянного тока — 15 %, механические и гидравлические приводы — 17%. Тенденция возрастания доли внедряемых регулируемых асинхронных электроприводов объективно сохранится и в дальнейшем, так как массовый регулируемый электропривод может быть реализован только на базе асинхронных двигателей. Это связано с тем, что в диапазоне мощностей до 100 кВт их производится в 40 —50 раз больше, чем двигателей постоянного тока [1].

Асинхронные машины используются главным образом в режиме двигателя. Это основной двигатель, применяемый в промышленности, сельском хозяйстве и в быту. Асинхронные двигатели являются приводными двигателями для большинства электроприводов. Промышленное производство приводится в движение, главным образом, асинхронными двигателями. Асинхронные двигатели потребляют около половины электроэнергии, вырабатываемой в стране. При этом наибольшее количество электроэнергии потребляют двигатели мощностью до 10 кВт. Предельная мощность асинхронных двигателей – несколько десятков мегаватт. Номинальные напряжения в асинхронных двигателях большой мощности доходят до 10 кВт. В индикаторных системах применяются асинхронные двигатели мощностью от долей ватта до сотен ватт. Асинхронные двигатели выпускаются единичными сериями в огромных количествах в большом диапазоне мощностей. Как и у любого другого типа машин, у асинхронного двигателя есть свои преимущества и недостатки.

Современные асинхронные электродвигатели зарекомендовали себя как удобные и эффективные электромеханические преобразователи. Основные требования к электрическим машинам включают в себя следующее:

- минимальная масса и габариты;
- высокие энергетические показатели;
- высокая перегрузочная способность;
- высокий пусковой момент;
- широкий диапазон регулировки частоты вращения.

Первые управляемые электропривода реализованы на базе коллекторных двигателей постоянного и переменного тока. Данные двигатели имеют наибольшую массу, габариты и стоимость по

сравнению с асинхронными и синхронными при одинаковых номинальных данных. Коллекторные двигатели имеют существенный недостаток, определяемый наличием щеточно-коллекторного узла, требующего постоянного обслуживания и снижающего надежность работы электропривода.

Развитие элементной базы в промышленной электронике обусловило разработку частотно-регулируемых электроприводов с использованием асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, обладающих наименьшими массо-габаритными и стоимостными показателями, простой технологией изготовления и высокой надежностью в эксплуатации. Однако, применение серийных асинхронных двигателей типа АИ общепромышленного назначения не позволило обеспечить требуемую эффективность работы частотно-регулируемых электроприводов. Это обстоятельство обусловило разработку специализированной модификации частотно-регулируемых двигателей типа АИ и методик их расчета с учетом питания от преобразователей частоты. Таким образом, использование асинхронных электродвигателей питаемых от преобразователей частоты позволяет частично реализовать приведенные выше требования, однако необходимость поддерживать в таких машинах намагничивающий ток снижает эффективность их применения.

В докладе рассмотрены конструктивные способы повышения эффективности работы во всём диапазоне регулирования управляемых асинхронных двигателей (выбор величины воздушного зазора, степени насыщения магнитной системы и т.д.)

Литература:

1. И.Я. Браславский Энергосберегающий асинхронный электропривод //Academa –2004– Москва
2. А. С.Technology Anticipated to Boost Sales in Variable Speed Drives Market //EPE Journal, 1996. - Vol. 6, № 2. - P. 7- 8. 78. Braslavsky I. Energy saving in electric drive // Proceeding of the 5-th international conference on unconventional and electrical systems. — Vol. 2. — Szczecin, 2001. - P. 235-238.
3. Забудский Е. И. Электрические машины. Асинхронные машины: учебное пособие для вузов / Е. И. Забудский. – М.: ООО «Мегаполис», 2017. – Ч. 2. – 304с.
4. Копылов И. П. Электрические машины: Учебник. – 5-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 2006.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

А.А. Темляков, В.В. Гречкин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, maksidor@inbox.ru

В работе рассмотрены конструктивно-технические особенности проектирования асинхронных двигателей специального назначения напряжением до 1000В на примере асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 45 кВт; приведены результаты расчета рабочих характеристик.

The paper discusses the design and technical features of the design of special-purpose asynchronous motors with voltages up to 1000 V using the example of a 45 kW squirrel cage rotor; shows the results of the calculation of performance

К асинхронным двигателям с короткозамкнутым ротором, составляющим основу большинства электрических приводов переменного тока, предъявляется ряд специфических требований. Эти специфические требования, как правило, предопределяются условиями функционирования электрической машины в электромеханической системе [1, 2, 3].

Цель работы заключается в определении алгоритмов проектирования асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, соответствующих следующим требованиям:

1. Требование определенных значений конкретных характеристик.
2. Вписывание габаритов электрической машины в заданное месторасположение.

Результаты исследования рассматриваются на примере асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 45 кВт.

Наилучшие результаты по соотношению главных размеров определены путем электромагнитных расчетов конструктивных модификаций и приведены в таблице 1. Наилучшие результаты выбраны по основному критерию: диапазон соотношения внутреннего диаметра якоря и расчетной длины воздушного зазора обеспечивает возможность поиска целесообразного соотношения коэффициента полезного действия и теплового состояния.

Таблица 1

$D, \text{ м}$	Внутренний диаметр статора	0.141	0.135	0.146
$l, \text{ м}$	Расчетная длина воздушного зазора	0.126	0.138	0.119
D/l	Коэффициент	1.113	0.977	1.220

Таблица 2

$D, \text{ м}$	0,214	0,237	0,261	0,284	0,308
$l_{\delta}, \text{ м}$	0,258	0,21	0,173	0,146	0,124
λ , о.е.	1,535	1,128	0,844	0,655	0,513
$P_{\text{эл.1}}$, Вт	1605,27	1706,87	1869,43	2031,99	2275,83
η , %	92,09	92,06	91,77	91,35	90,01

Важно отметить, что достижение максимального значения коэффициента полезного действия базируется на конструктивно-техническом приеме, использование которого обеспечивает примерное равенство постоянных и переменных потерь электрической машины, что, в свою очередь, достигается путем обеспечения рационализации формы и размерных отношений пазов и зубцов зубцово-пазовых структур статора и ротора.

При разработке асинхронных двигателей специального назначения эффективным средством, позволяющим в достаточно коротком временном промежутке обосновать оригинальные конструктивно-технические решения для получения заданных технических характеристик, является применение современных компьютерных средств [1, 2, 3]. В качестве примера на рисунке 1 показана модель магнитного поля в программной среде FEMM поперечного сечения активного объема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 15 кВт при $D/l=1.118$. При изменении размеров, числа и формы пазов визуально наблюдается изменение интенсивности магнитного поля. На основании анализа результатов такого исследования корректируется рекомендованный в научно-технической литературе диапазон изменения чисел зубцов на статоре и роторе при минимизации поверхностных и пульсационных потерь в стали.

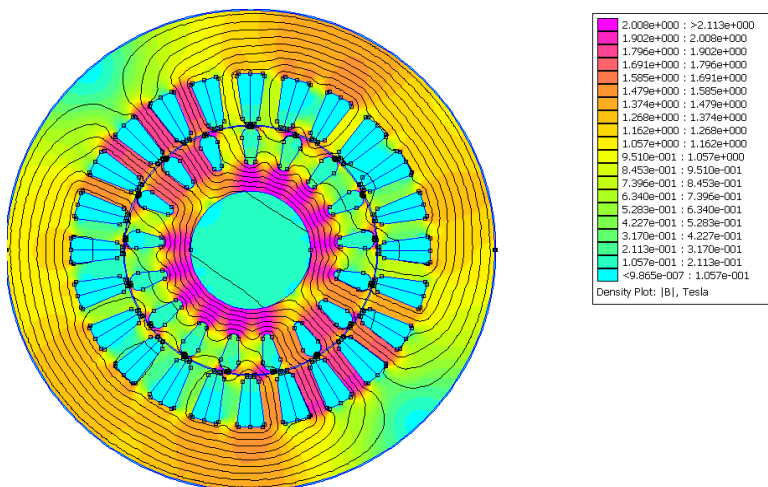


Рисунок 1 - Модель магнитного поля в программной среде FEMM при $D/l=1.118$

Заключение:

1. Состояние и развитие электротехнической промышленности имеют большое значение для решения задач во многих сферах народного хозяйства. Анализ выполненных расчетов показал, что наиболее распространенным приемом повышения энергоэффективности (коэффициента полезного действия и коэффициента мощности) является уменьшение уровня электромагнитных нагрузок. Однако, такой подход сопровождается увеличением материалоемкости. На современном этапе целесообразно использовать прием одновременного определения рациональной геометрической формы, размерных соотношений активного объема электрической машины и обоснования уровня электромагнитных нагрузок (расчетной индукции в воздушном зазоре и линейной нагрузки).

2. Для разрабатываемой электрической машины за счет изменения конструкции поперечного сечения активного объема достигнут диапазон изменения коэффициента полезного действия 0.917 – 0.922.

Литература:

1. Темлякова З.С., Шевченко А.А., Гречкин В.В. Исследование эксплуатационных свойств асинхронного двигателя на основе численного моделирования // Электротехника. Электротехнология. Энергетика (ЭЭЭ-2015) = Electrical engineering. Electrotechnology. Energy (EEE-2015) : сб. науч. тр. 7 междунар. науч. конф. молодых

ученых, Новосибирск, 9–12 июня 2015 г. В 3 ч. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – Ч. 1. Секция «Электротехника». – С. 79-82.

2. Темлякова З.С., Гречкин В. В., Соловейчик Ю. Г., Персова М. Г. Компьютерная поддержка проектирования высоковольтных асинхронных двигателей // Электротехника, 2014. - № 12. - С. 33-35.

3. Зимогляд А. Д., Темляков А. А. Энергоэффективные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором напряжением до 1000 В // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр.: в 10 ч., Новосибирск, 4–8 дек. 2017 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – Ч. 5. – С. 81-83.

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

М.Ю. Труханова, Л.Г. Шевченко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mariatruhanova55@gmail.com**

В работе осуществляется выбор типа генератора, который лучше подходит для ветроустановок, таковым является синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов и однозубцовыми обмотками на статоре. Представлены различные способы получения энергии, а также преимущества выбранного генератора, в сравнении с другими.

The work selects the type of generator that is best suited for wind turbines, such as a synchronous generator with excitation from permanent magnets and single-pronged windings on the stator. Various methods of generating energy are presented, as well as the advantages of the selected generator in comparison with others.

Существует несколько видов источников энергии. Нетрадиционные источники электрической энергии, где невозполняемые энергоресурсы практически не тратятся: ветроэнергетика, приливная энергетика, солнечная энергетика. Традиционные источники электрической энергии: тепловая ТЭС, энергия потока воды - ГЭС, атомная энергия - АЭС.

Ветроэнергетика – это направление альтернативной энергетики, основанной на использовании возобновляемого источника энергии, которым является ветер.

Для России развитие ветроэнергетики особенно важно в зонах децентрализованного энергоснабжения, в первую очередь в районах Крайнего Севера и приравненных к ним территорий, а также в зонах неустойчивого централизованного энергоснабжения. Ветровые установки наиболее выгодно использовать в местах, где невозможно

провести общую электросеть, или соединение является очень затратным, а также - в местах с частыми отключениями электричества.

ВЭУ имеют ряд преимуществ, основными из которых являются:

1. Практическая неисчерпаемость энергии ветра.
2. ВЭУ являются незаменимыми источниками энергии в районах, удаленных от централизованных.
3. Экологически чистый источник энергии, нет выбросов вредных веществ в атмосферу.
4. Для строительства ВЭУ можно выбрать земли, непригодные для хозяйственной деятельности.
5. Современные ВЭУ полностью автоматизированы и не требуют дежурного персонала. Монтируются и устанавливаются они очень быстро.

Все вышеперечисленные преимущества ВЭУ способствуют тому, что интерес к ветроэнергетике с каждым годом повышается.

Схематично ветроэнергетическую установку (ВЭУ), работающую на автономную нагрузку, можно представить следующим образом (Рисунок 1).

Представленная на схеме автономная ВЭУ состоит из ветроколеса, генератора СГ, блока управления, инвертора и аккумуляторной батареи.

Основной частью ВЭУ является генератор. До последнего времени в качестве генераторов для ВЭУ применялись асинхронные генераторы (АГ) и синхронные генераторы (СГ) классического исполнения, генераторы постоянного тока. Однако данные виды генераторов обладают существенными недостатками.

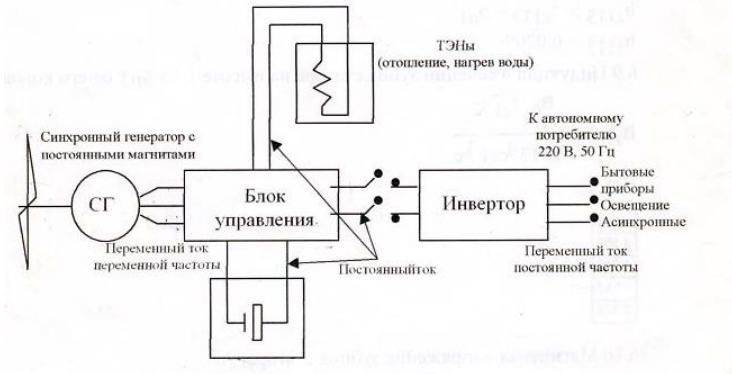


Рис. 1 - Схема автономной ВЭУ.

В автономных ВЭУ небольшой мощности стали использовать магнитоэлектрические синхронные генераторы, однако их

использование невозможно без устройств, согласующих частоту и величину выходного напряжения с аналогичными показателями сети.

Применение магнитоэлектрических генераторов улучшает систему, благодаря свойствам, присущим данному типу машин. При работе ВЭУ одним из уязвимых и дорогостоящих мест является механическая часть преобразующая малую скорость вращения ветроколеса, поэтому логично стремиться к исключению мультипликатора из конструкции нашей установки.

При всем том возникает сложность с преобразованием механической энергии в электрическую. Избежать этого можно с помощью специальных многополюсных синхронных генераторов, работающих при низких скоростях вращения.

В НГТУ на кафедре электромеханики разрабатываются и изготавливаются низкоскоростные многополюсные синхронные генераторы с постоянными магнитами. В этих генераторах применены дробные однозубцовые обмотки с $q < 1$, такие обмотки относятся к концентрическим обмоткам, не имеющим пересекающихся лобовых частей, что упрощает технологию изготовления, уменьшает осевой размер машины за счет малых вылетов лобовых частей, уменьшает расход обмоточной меди и уменьшает потери в обмотке статора за счет малой длины лобовых частей. Следует отметить, что при одинаковой полюсности многополюсных электрических машин с классическими обмотками и с однозубцовыми дробными обмотками, последние имеют лучшие массогабаритные и энергетические показатели. Многополюсный ротор с постоянными магнитами выполняется с тангенциальным размещением магнитов (коллекторного типа). Это позволяет добиться концентрации магнитного потока в воздушном зазоре, что, в свою очередь, позволяет уменьшить размеры магнита и улучшить массогабаритные показатели.

Данный тип генераторов целесообразно использовать для ВЭУ. Такие генераторы отличаются небольшими размерами, легкостью эксплуатации, низкой стоимостью.

Литература:

1. Шевченко А. Ф., Приступ А. Г. Электрические машины с постоянными магнитами: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 60 с.
2. Ветроэнергетика, под редакцией Д. де Рензо. Перевод с англ. Под редакцией Я.И.Шефтера. М.Энергоатомиздат. 1982.
3. Шевченко А. Ф. Многополюсные синхронные машины с дробными q меньше 1 зубцовыми обмотками с возбуждением от

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ДЛЯ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Д.А. Ясюкевич, Л.Г. Шевченко

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, DarvaYasya@gmail.com

В работе кратко описаны преимущества и целесообразность использования микроГЭС, представлена примерная схема микроГЭС и описан принцип ее действия. Обоснован выбор и преимущества синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов для микро ГЭС.

The paper briefly describes the advantages and expediency of using micro-hydroelectric power plants, presents an approximate scheme of micro-hydroelectric power plants and describes the principle of its operation. The choice and advantages of a synchronous generator with excitation from permanent magnets for micro hydroelectric power plants are substantiated.

Одним из наиболее эффективных направлений развития нетрадиционной энергетики является использование энергии небольших водотоков с помощью микро - и малых ГЭС. В Российской Федерации малые реки формируют около половины суммарного объема речного стока России. Около 90% малых населенных пунктов и фермерских хозяйств расположено на территории их водосбора. В связи с этим целесообразно использовать их потенциал для водо- и энергоснабжения автономных и фермерских хозяйств с применением микроГЭС. Особенно это актуально для горных районов и районов децентрализованного энергоснабжения.

Основными преимуществами использования микроГЭС являются:

- снижение потерь электроэнергии вследствие приближения энергоисточника к потребителю;
- уменьшение негативного влияния на окружающую среду по сравнению с крупными ГЭС;
- возможность использования в круглогодичном цикле работы.

То есть малая гидроэнергетика имеет лучшие показатели в экономическом плане, является наиболее экологически безопасным способом получения электроэнергии и, следовательно, малая энергетика является наиболее экономичным решением энергетических проблем для

территорий зон децентрализованного электроснабжения, которые составляют более 70% территории России. Это значительно дешевле и выгоднее, чем строительство линий электропередач или эксплуатация дизельных установок.

МикроГЭС — это установка, предназначенная для преобразования кинетической энергии воды в электричество.

Примерная схема микроГЭС представлена на рис. 1.

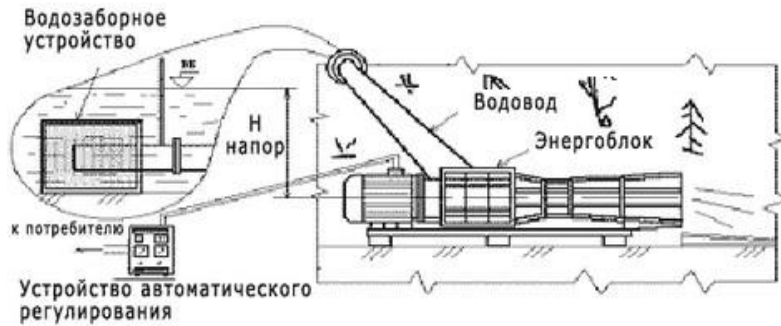


Рис.1 - Общая конструкция МикроГЭС

Принцип действия заключается в следующем: под действием напора потоки воды устремляются в требуемом направлении, в створе их движения монтируется турбина, на лопасти которой и поступает энергия движущихся водных масс. Эта кинетическая энергия воды преобразуется турбиной во вращательное движение, которое передается на вал генератора. С вала генератора переменный ток поступает на устройство автоматического регулирования, которое может включать выпрямитель и стабилизатор напряжения. Затем, как правило, через инвертор энергия поступает к потребителю.

Основой электрической части микроГЭС является электрический генератор.

При проектировании генераторов для микроГЭС необходимо согласование мощностных и скоростных параметров гидротурбины и генератора. Главная особенность заключается в том, что приводная гидротурбина имеет частоту вращения 100...800 об/мин. Если использовать классический генератор, то необходимо применение механического редуктора. Наличие механического редуктора – это увеличение установленной мощности, эксплуатационных расходов и снижение ресурса работы, что сильно снижает надежность гидроустановки. Поэтому желательно, чтобы генератор,

непосредственно сочлененный с гидротурбиной, был бы низкоскоростным.

В последнее время всё большее распространение в автономных электростанциях, в том числе и в микроГЭС, получают низкоскоростные синхронные генераторы с возбуждением от постоянных магнитов.

В данной работе предлагается применить для микроГЭС низкоскоростной синхронный генератор с постоянными магнитами, который разрабатывается на кафедре «Электромеханика» в НГТУ.

Основными преимуществами предлагаемого в данной работе синхронного генератора по сравнению с серийными электрическими генераторами являются:

1. Отсутствие мультипликатора. В выбранном магнитоэлектрическом генераторе применена дробная однозубцовая обмотка с $q < 1$. Отличительной особенностью этой обмотки является то, что она в качестве рабочих гармоник м.д.с. создает две высшие гармоники м.д.с., вращающиеся в противоположных направлениях. Например, для 5-й гармоники можно изготовить генераторы с полюсностью $2p = 10, 20, 30$ и т.д.

2. Выбранный генератор при одинаковой полюсности с серийными генераторами имеет лучшие массогабаритные и энергетические показатели. Это связано с тем, что для увеличения полюсности серийных генераторов с классическими обмотками необходимо выполнять большее число зубцов статора, а это приводит к измельчению зубцово-пазовой зоны и, как следствие, к снижению заполнения паза медью, увеличению высоты зубца, а, следовательно, и к снижению линейной нагрузки и индукции в воздушном зазоре

3. Использование в качестве возбуждения постоянных магнитов позволило избежать скользящих контактов в генераторе и, как следствие, повысить надежность микроГЭС.

В заключение можно сказать, что выбор генератора такого типа как нельзя лучше подходит для работы микроГЭС.

Литература:

1. Шевченко А. Ф., Приступ А. Г. Электрические машины с постоянными магнитами: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 60 с.

2. Генераторы для ветровых, малых гидравлических и приливных электростанций : сборник / Ю.М. Голоднов, А.В. Пиковский ; Науч. ред. И.А. Лабунец; ВИНТИ. - Москва : ВИНТИ, 1992. - 100 с. : ил. - (Итоги науки и техники, ISSN 0208-0672. Серия Нетрадиц. и возобновляемые источники энергии ; Т.3)

3. Многополюсные синхронные машины с дробными однозубцовыми обмотками. Часть 1. Основы теории и конструкции. Методическое руководство. Новосибирск, 1995.-39с

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА
ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ

**РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ЗАДАТЧИКА РАЗГОНА
ДЛЯ ШПИНДЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

А.А. Алексеев, В.В. Тютиков

**Ивановский Государственный Энергетический Университет,
г. Иваново, alsansan420@gmail.com**

В работе представлена система управления высокоскоростными шпиндельными двигателями. Особое внимание уделяется структурному элементу под названием "адаптивный задатчик разгона", который позволяет генерировать задание на ускорение/скорость для максимально быстрой его обработки – как при разгоне, так и при торможении.

This paper deals with the control system for high-speed spindle motors. Special attention is paid to a structural element called "Adaptive Acceleration Setter", which enables generating an acceleration/speed setpoint for the fastest possible performance, both during acceleration and braking.

Важной частью задачи построения системы числового программного управления (ЧПУ) металлорежущими станками является разработка системы управления (СУ) асинхронным двигателем с глубоким ослаблением поля для электроприводов шпиндельной группы. Она должна удовлетворять следующим требованиям: работа в трех зонах регулирования скорости [1], быстрый разгон и торможение на любых скоростях вплоть до максимальной, высокая точность обработки задания, а также возможность позиционирования шпинделя.

Разработана система векторного управления, построенная по принципу подчиненного регулирования. Основными ее компонентами являются: регулятор скорости с возможностью переключения структуры для работы в виде регулятора положения, регуляторы токов (активного и намагничивания), регулятор и наблюдатель потока, а также формирователь закона ослабления поля в зависимости от текущей скорости вращения двигателя. Корректная работа этих блоков зависит от знания параметров схемы замещения асинхронного двигателя, для оценки которых составлена методика идентификации.

Для обеспечения максимально быстрого разгона и торможения двигателя разработан адаптивный задатчик разгона (АЗР), включающий в себя два элемента: задатчик ускорения (ЗУ) и корректор разгона (КР)

(Рис. 1). Надо понимать, что традиционный задатчик интенсивности, выполняемый в виде апериодического звена, для этого использовать нецелесообразно, так как постоянная времени отработки задания должна быть наименьшей при выходе на любую скорость вплоть до максимальной.

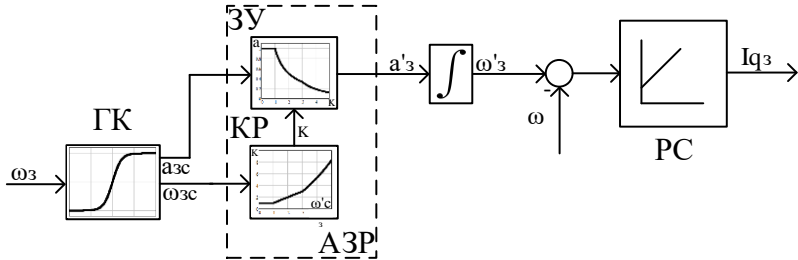


Рис. 1 – Часть структуры СУ шпиндельным двигателем, включающая в себя АЗР

На этом рисунке:

- ω – измеренная скорость двигателя, рад/с;
- $a'_з$ – заданное ускорение, скорректированное ЗУ, рад/с²;
- $a_{зс}$ – заданное ускорение текущего сегмента, рад/с²;
- $\omega_з$ – заданная скорость, рад/с;
- $\omega_{зс}$ – заданная скорость текущего сегмента, рад/с;
- $\omega'_з$ – заданная скорость, скорректированная ЗУ, рад/с;
- $Iq_з$ – задание на активный ток двигателя, А.

Принцип работы АЗР заключается в следующем:

1. При изменении задания на скорость $\omega_з$, оно поступает на блок генерации кривой (ГК).

2. Генерируется кривая разгона (S-образная кривая второго порядка), состоящая из трех сегментов – конечной точкой является заданная скорость $\omega_з$.

3. Блоком КР в зависимости от $\omega_{зс}$, а также от принадлежности этой скорости к одной из трех зон, генерируется коэффициент коррекции разгона K в соответствии с законом

$$K = \begin{cases} 1 + K_f * \omega_{3C}, & \text{if } \omega_{3C} \leq \omega_I \\ \frac{\omega_{3C}}{\omega_I} + K_f * \omega_{3C}, & \text{if } \omega_I < \omega_{3C} < \omega_{II} \\ \left(\frac{\omega_{3C}}{\omega_{II}} \right)^2 + K_f * \omega_{3C}, & \text{if } \omega_{3C} > \omega_{II} \end{cases}$$

где ω_I – граница первой зоны регулирования скорости двигателя, рад/с;
 ω_{II} – граница второй зоны регулирования скорости двигателя, рад/с;
 K_f – коэффициент, зависящий от величины момента сухого трения.
Этот закон в относительных единицах проиллюстрирован на Рис. 2, где $\omega^* = \omega_{3C} / \omega_I$, $K_f = 0$.

4. В зависимости от величины полученного коэффициента К в блоке ЗУ происходит снижение значения ускорения a'_3 относительно изначально сформированного ускорения сегмента a_{3C} .

5. Сниженное значение ускорения интегрируется для получения скорректированной скорости ω'_3 , после чего разность ω'_3 и ω поступает на регулятор скорости (РС).

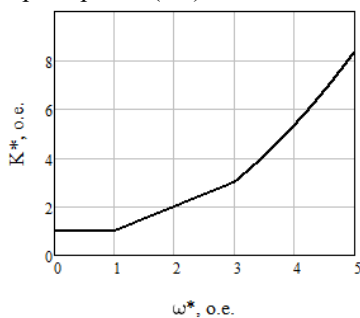


Рис. 2 – Закон изменения коэффициента коррекции разгона К от скорости при $\omega_{II} = 3\omega_I$

Испытания системы управления, включающей АЗР, проводились на высокоскоростном обрабатывающем центре Ивановского завода тяжелого станкостроения (ИЗТС) «Супер-центр ИС630», где разгон ненагруженного шпиндельного двигателя до скорости 6000 об/мин, что соответствует третьей зоне, занял 1.3 секунды, а торможение – 0.9

секунд (Рис. 3). Качество работы в первой и второй зонах подтверждено экспериментально снятыми графиками электромагнитного момента и мощности двигателя. Отклонение от заданной величины во всем диапазоне регулирования не превышало 1%.

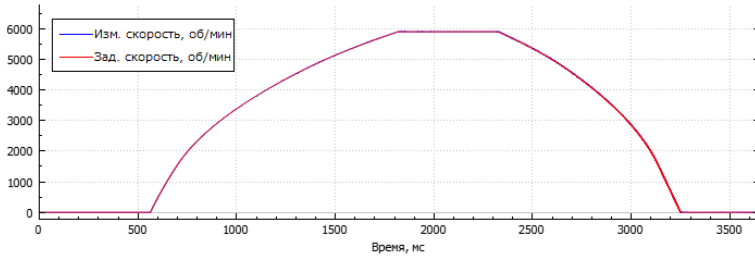


Рис. 3 – График разгона и торможения шпиндельного двигателя

Литература

1. Шрейнер Р.Т. и др. Трехзонная система векторного частотного управления асинхронным электроприводом / Шрейнер Р.Т., Кривовяз В.К., Шилин С.И., Хабаров А.И. – VIII Международная конференция по автоматизированному электроприводу АЭП-2014 – т. 1. – Саранск, 2014. – с. 433-437.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОРИЕНТИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

А.А. Блинов, Е.С. Кучер

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
Новосибирск, artur.dunga97@gmail.com**

Работа посвящена анализу структуры и способов повышения энергетической эффективности систем ориентирования солнечных панелей.

The work is devoted to the analysis of the structure and methods of increasing the energy efficiency of solar panel orientation systems.

На сегодняшний день одним из самых актуальных способов повышения эффективности работы солнечной панели является применение системы ориентирования.

Системы ориентирования солнечных панелей призваны совершать поворот солнечных панелей по мере изменения положения солнца на небосводе в течении дня. Поворот солнечной панели позволяет держать

заданный угол, примерно равный 90 градусам, между плоскостью солнечной панели и вектором солнечной инсоляции, благодаря чему выработка электрической энергии солнечных модулей всегда максимальна.

Использование системы ориентирования солнечной панели, помимо преимущества в увеличении производства электрической энергии солнечными модулями, также имеет и свои недостатки. Основными недостатками использования систем ориентирования панелей являются:

- уменьшение надежности, связанное с усложнением как механической, так и электрической частей солнечной панели;
- потребление системой ориентирования электрической энергии;
- увеличение денежной стоимости солнечной панели;
- увеличение масса-габаритных показателей солнечной панели.

Исключение всех вышеперечисленных недостатков в полной мере не является возможным, но совершив оптимальный подбор элементов системы ориентирования, а также оптимизировав алгоритм работы системы ориентирования панели, возможно добиться минимизации их влияния на работу солнечной панели.

Структура системы ориентирования солнечной панели может в значительной степени различаться в зависимости от количества координат ориентирования, а также от типа электрического двигателя.

Рассмотрим один из вариантов исполнения системы ориентирования солнечной панели. На рис.1 представлена функциональная схема солнечной панели с системой ориентирования в случае двух координат ориентирования с вентильными двигателями в составе электропривода системы ориентирования[1].

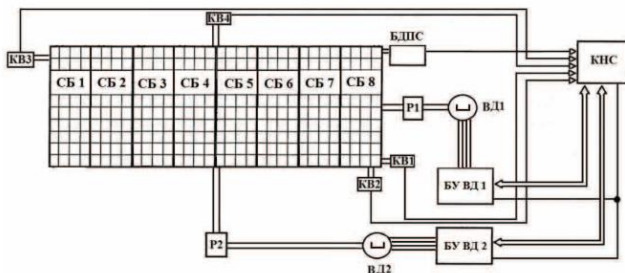


Рис.1 – Функциональная схема солнечной панели с системой ориентирования в случае двух координат ориентирования с вентильными двигателями

На рис. 1 приняты следующие обозначения: СБ 1–СБ 8 – солнечные батареи; ВД1, ВД2 – вентильные двигатели; Р1, Р2 – редукторы; БУ ВД1, БУ ВД2 – блоки управления вентильными двигателями; БДПС – блок датчиков положения Солнца; КНС – контроллер наведения на Солнце; КВ1–КВ4 – конечные выключатели.

Необходимо отметить, что в случае двух координат ориентирования наличие двух комплектов электродвигателей (ЭД), блоков управления ЭД, а также редукторов не является обязательным критерием. Применение специального механического передаточного устройства позволит использовать только один ЭД для поворота солнечной панели по двум осям ориентирования, что, в свою очередь, поможет снизить энергопотребление, масса-габаритные показатели и денежную стоимость системы ориентирования.

Важным аспектом любой системы, генерирующей электрическую энергию, является система электроснабжения. Рассмотрев структуру системы электроснабжения можно оценить количество ступеней преобразования электрической энергии и, тем самым, оценить алгоритм работы системы. В общем случае функциональная система электроснабжения солнечной панели с системой ориентирования имеет вид, представленный на рис.2.

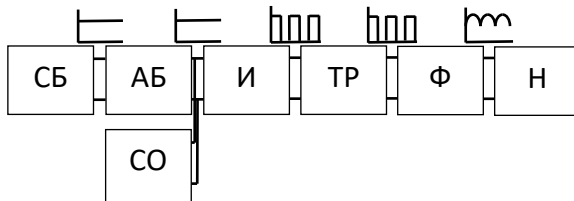


Рис.2 – Функциональная схема системы электроснабжения солнечной панели с системой ориентирования

На рис.2 приняты следующие обозначения: СБ – солнечная батарея, АБ – аккумуляторная батарея, И – инвертор напряжения, ТР – трансформатор напряжения, Ф – выходной фильтр напряжения, Н – нагрузка, СО – система ориентирования.

Наличие блоков СБ, АБ, Н, СО неизменно, в случае, когда речь идет о солнечной батарее с системой ориентирования. Блоки: И, ТР, Ф выполняют общую функцию – преобразование параметров электрической энергии, вырабатываемой СБ, и их наличие, а также параметры, напрямую зависят от типа электрической энергии, потребляемой нагрузкой.

Основными типами электрических двигателей, используемых в составе систем ориентирования являются: АД с КЗР, ДПТ и их подвиды, а также шаговые ЭД [2].

Использование одного из разновидностей ЭД, перечисленных выше, в составе системы ориентирования имеет свои преимущества и недостатки. Для наглядной демонстрации плюсов и минусов использования различного типа ЭД в составе системы ориентирования солнечных панелей составлена табл.1[3,4].

Критерии оценки, указанных в табл.1, не являются исчерпывающими, но именно указанные критерии в основной степени определяют энергетическую эффективность системы ориентирования, надежность, масса-габаритные показатели, а также денежную стоимость. В таб.1 средний КПД ЭД различных типов был взят из условия, что необходимая мощность ЭД в составе системы ориентирования панелей составляет порядка 50 Вт [5].

Таблица 1 – Критерии использования ЭД в составе системы ориентирования

Тип ЭД / Критерий оценки	АД с КЗР	ДПТ	ШД
Наличие редуктора	+	+	-
Средний КПД	55%	55%	80%
Обратные связи	По току, углу поворота	По току, углу поворота	По току

Также, стоит отметить, что любой тип ЭД в составе системы ориентирования нуждается в собственном преобразователе электрической энергии, который необходим для управления углом поворота ЭД. При правильном выборе системы управления выходным сигналом преобразователя можно добиться необходимой точности позиционирования солнечной батареи при использовании ЭД любого типа.

В результате анализа структуры системы ориентирования солнечных панелей можно сделать следующие выводы:

- основным элементом системы ориентирования солнечной панели является ЭД, который в большей степени определяет основные показатели эффективности системы ориентирования;
- повышения энергетической эффективности системы ориентирования можно добиться, выбрав ЭД с наибольшим КПД, но

стоит также помнить и о преобразователе электрической энергии для ЭД и алгоритме системы управления ЭД, которые также в значительной степени влияют на энергетическую эффективность системы ориентирования. Исходя из анализа типов ЭД, приведенного в табл.1, можно сделать вывод, что наиболее предпочтительным типом ЭД для системы ориентирования является шаговый двигатель.

Литература:

1. Аржанов Кирилл Владимирович. Двухкоординатная система наведения солнечных батарей на солнце // Известия Томского политехнического университета. – 2014. - Т. 324. №4. – С139-146.

2. Татьяна Сергеевна Аббасова. Оценка влияния КПД гелиоустановки на экологические и экономические показатели // ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ. – 2011. –Т. 7. №2. – С3-9.

3. КАТАЛОГ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.xn--80addceesnh0axzh6mb.net/>- Загл. с экрана.

4. РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.electroprivod.ru/steppmotor-selection.htm>- Загл. с экрана.

5. А.С. Петрусёв, Е.Ж. Сарсикеев, Д.Ю. Ляпунов. Разработка технических средств повышения эффективности солнечных установок // Вестник науки Сибири. – 2015. - Спецвыпуск (15). – С77-82.

РАЗРАБОТКА И СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КАМЕРЫ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ПОДВОДНОГО РОБОТА ODYSSEY

И.И. Булуев

**Томский политехнический университет
buluev.ilia@gmail.com**

В статье описывается разработка принципиальной электрической схемы базовой версии системы видеонаблюдения подводного робототехнического комплекса с манипулятором «Odyssey». Проводится ее сборка из электронных компонентов и тестирование точностных характеристик при различных углах поворота и возврата.

The article describes the development of a principled electrical circuit diagram of video surveillance system basic version of an underwater robotic complex with a

manipulator "Odyssey". It is assembled from electronic components and testing of accuracy characteristics at various angles of rotation and return.

В настоящее время для освоения Мирового океана активно используются подводные робототехнические системы, оснащенные манипуляторами. Выполнение манипуляций в подводном пространстве требует создания как новых систем управления подводными аппаратами, так и их манипуляторами. Задачами для таких манипуляторов может быть не только фиксация и транспортировка грузов, но и проведение ремонтных работ, таких как сварка подводных трубопроводов, перекрытие задвижек, в случае отказа оборудования и т.п. Мировой опыт применения подводной техники доказывает, что без неё невозможно представить развитие нефте- и газодобывающей отрасли в шельфовой зоне. Согласно расчетам компании «Shell», использование подводных аппаратов для бурения скважин, прокладки маршрутов трубопроводов, сборки океанографических данных, проб с участков местности позволяет экономить до 772 млн долларов ежегодно [1].

В предыдущей работе автор описывал имеющийся задел – создание прототипа подводного робота, решалась задача его точного позиционирования под водой [2]. Целью настоящей работы является разработка прототипа системы видеонаблюдения как части системы технического зрения, работающей в режиме реального времени. Основная часть задач данной работы в части разработки ее архитектуры, функциональных схем, подбора компонентов, программирование контроллеров и лабораторное тестирование работы аппарата была реализована и представлена в работах, находящихся в стадии публикации. Задачей настоящей работы является разработка принципиальной электрической схемы для контроля поворота видеокамеры и финальное тестирование и отладка системы видеонаблюдения. Перейдем к рассмотрению такой схемы – она представлена на рисунке 1.

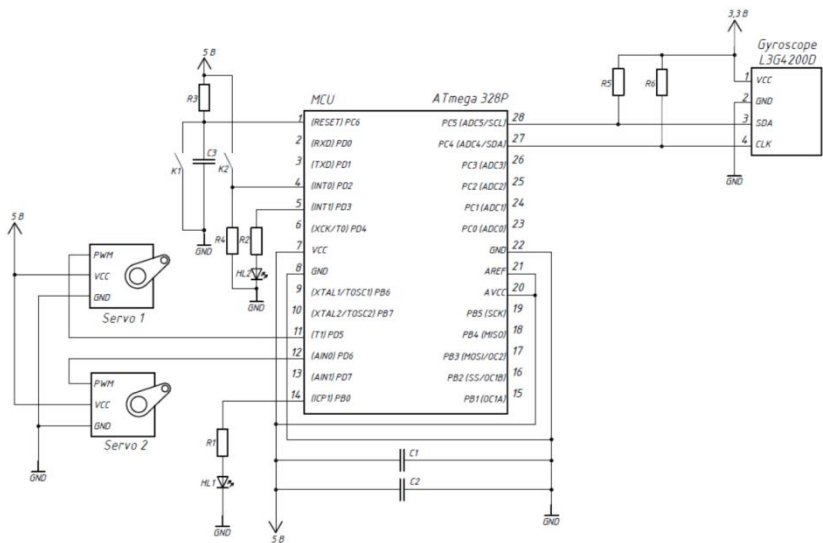


Рис. 1 – Принципиальная электрическая схема системы видеонаблюдения подводной робототехнической системы

Серводвигатели 1 и 2 подключены к выводам микроконтроллера PD5 и PD6 соответственно. Эти выводы предназначены для передачи ШИМ-сигнала управления положением вала привода. Подключение Servo 1 и Servo 2 осуществляется к обособленному источнику питания 5В – питанию платы передачи информации, т.к. при работе сервоприводов в момент запуска потребляется большая величина тока, что может привести к сбою работы управляющего микроконтроллера.

В качестве источника питания для микроконтроллера ATmega используется постоянное напряжение 5В. Вывод VCC – питание микроконтроллера, AVCC – питание аналого-цифрового преобразования. Выводы GND – заземление. Выводы микроконтроллера PC6 и PD0 подключены к контактным кнопкам K1 и K2 через обвязку из конденсаторов и резисторов. При нажатии кнопки на выводе PC6 контроллер выполнит перезагрузку, а на выводе PD0 войдёт в режим настройки начальных условий гироскопа. Светодиод HL1 необходим для сигнализации о корректной работе контроллера; подключен к выводу PB0 через резистор R1. Конденсаторы C5 и C6 фильтруют входной сигнал.

Выводы микроконтроллера PC4 и PC5 используются для считывания данных с датчика L3G4200D по протоколу передачи данных I2C и подключены к линиям тактирования CLK и линии данных SDA. Линии

CLK и SDA являются общими линиями, к которым подключаются все устройства для передачи информации, в то время, как сами линии подключаются к линии питания через резистор номиналом 10 кОм. На рисунке 2 представлен внешний вид собранной схемы.

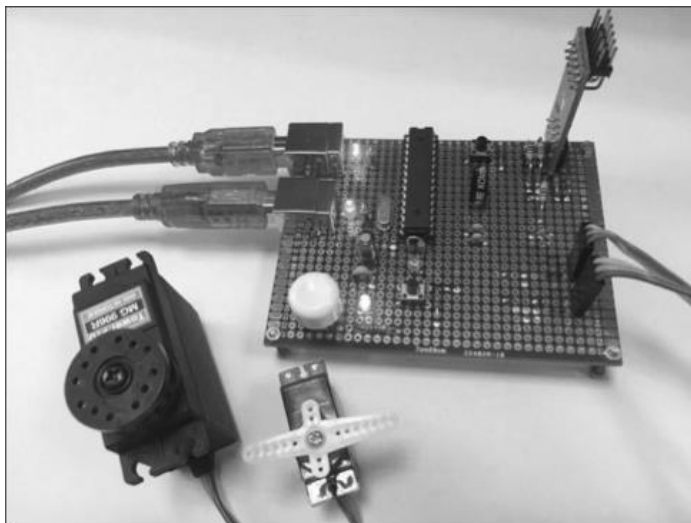


Рис. 2 – Внешний вид прототипа электрической части схемы управления движением камеры

Тестирование и отладка системы видеонаблюдения

Для экспериментальной проверки проведем ряд экспериментов, в которых датчик будет повернут на 10, 30, 60 и 90 градусов, после чего датчик переведен будет в начальное положение. Акцент делается на показания углов поворота, которые будут пересчитаны в управляющие импульсы для сервоприводов в микроконтроллере, после чего камера будет поворачиваться. Количество экспериментов – 20 (для каждого значения угла поворота). Все результате тестирования сведены в таблице 1.

Проанализировав таблицу, получаем, что абсолютная погрешность показаний датчика не превышает 5 град. Учитывая натурное проведение эксперимента с использованием транспортира (деление шкалы составляет 1 град), максимальная суммарная погрешность составляет $1,4 \pm 0,5$ град, что является удовлетворительным показателем качества регулирования.

Таблица 3 – Проверка точностных характеристик устройства

№	Угол поворота				Угол возврата			
	10	30	60	90	10	30	60	90
1	10,2	30,7	61	89,9	0,1	-0,4	0,8	1,4
2	10,9	30,1	59,7	89,7	0,15	-0,6	-0,2	-0,4
3	10,6	29,4	59,4	90,7	0,2	-0,5	0	-0,6
4	9,9	30,7	59,2	89,3	0,1	0	0,8	-1,8
5	10,7	30,2	59,3	90,5	-0,1	0,2	-0,6	0,7
6	9,7	29,6	58,1	89,8	-0,8	-0,7	-0,4	-0,8
7	9,9	30,3	60	91,4	-1,2	-0,5	-0,7	-0,2
8	9,8	29,5	60,7	90,9	0,8	-1,2	-1,3	1,6
9	9,2	30	59,9	90,5	0,7	0,1	-0,4	1,8
10	10,6	29,3	57,9	90,8	0,3	-0,3	-1	0
11	10,7	30,4	59	89,3	-0,2	0,9	0,8	0
12	10,5	29,8	58,1	89,3	-0,3	-1,7	-1,1	-0,1
13	10,4	30	29,2	90,6	0,2	0	0,4	-0,3
14	10,4	28,9	60,1	90,1	-0,1	-1	0,2	-0,9
15	10,3	29,7	59,4	90,4	-0,5	-1,1	-0,9	1,5
16	10	29,5	58,9	88,9	-0,6	0,1	-0,6	-0,8
17	9,9	29,1	59,9	88,5	0,8	0,6	-1,8	-0,5
18	10,3	29,5	59,7	88	0,4	-0,8	0,3	-1
19	10,2	29,5	60,4	91	0,5	-1,1	1,9	0,7
20	9,8	29,2	60,6	91,2	-0,12	-0,1	0,8	0,6
Сред. знач.	10,2	29,75	59,525	89,9	0,1	-0,2	0,8	1,4
Δφ	0,2	0,25	0,475	0,1	0,1	0,2	0,8	1,4
δ, %	2,00	0,83	0,79	0,11	-	-	-	-

Литература:

1. Кумминс Я., Бизант Д. Shell шокирует мир. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. URL: dolit.net/author/8583/ebook/31390/kummins_yan/Shell_shokiruet_mir/read/1
3. – Датаобращения: 14.11.2020 г.

2. Федоров Е. А., Булуев И. И. Разработка подводного робота «Odyssey» // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск: в 2 т. - Томск: Изд-во ТПУ, 2016. - Т. 1. - [С. 278-279]

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА МЕТОДАМИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

И.А. Выходцева, В.М. Кавешников

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, irina_semerkova@mail.ru , yldi@yandex.ru**

Целью работы является разработка оптимального регулятора давления на выходе винтового компрессора, обеспечивающего минимальное потребление энергии на перекачку газа. Сравнительный анализ существующих аналитических методов оптимизации.

The aim of this work is to develop an optimal pressure regulator at the output of a screw compressor that provides minimal energy consumption for gas pumping. Comparative analysis of existing analytical optimization methods.

Введение

Для транспортировки газа в больших объемах и на большие расстояния необходимо производить компримирование газа перед подачей его в магистральный газопровод. В настоящее время сжатие газа энергетически затратно на любом предприятии – именно поэтому необходимо оптимизировать работу компрессорного оборудования.

Последние 20 лет винтовые компрессоры стали популярны в газодобывающей отрасли, в системах нефтеперерабатывающих и химических производств. *Винтовой компрессор* - это наиболее современное технологическое решение для сжатия газа, представленный в виде горизонтальной одноступенчатой машины с приводом от электродвигателя, его конструкция состоит из корпуса, ведущего и ведомого роторов и торцевого уплотнения. Основными рабочими органами компрессора являются два, находящиеся в зацеплении друг с другом, ротора. При вращении винтов по мере освобождения парных полостей, происходит заполнение их газом через окно всасывания. За счет того, что газ заполняет впадины ведущего ротора, происходит сжатие газа ведомым ротором.

Винтовые компрессоры активно внедряются в нефтегазовую отрасль благодаря лучшим характеристикам, но на компримирование газа затрачивается значительное количество электроэнергии, поэтому есть смысл оптимизации работы винтовых компрессоров, обеспечивающее минимальное потребление электроэнергии.

1. Преимущества винтового компрессора

Преимущества винтовых компрессоров в отличие от поршневых агрегатов:

1) Экономия электроэнергии за счет винтовых блоков и автоматического управления подачи газа. Благодаря этому расход электроэнергии снижается приблизительно на 30%;

2) За счет различного механизма сжатия (винтовой компрессор – роторы с винтообразными зубьями, вращающиеся навстречу друг другу, поршневой компрессор – поршень, совершающий возвратно-поступательные движения внутри цилиндра) винтовой компрессор имеет малогабаритность, низкий уровень шума и вибраций;

3) Винтовые агрегаты обладают отличными техническими характеристиками: КПД до 95%, когда у поршневых агрегатов не достигает 60%, производительность свыше 40 м³/мин;

4) Винтовые компрессоры позволяют значительно экономить средства на монтаж и наладку, поскольку не требуют установки фундамента или отдельного помещения. А также экономия средств на обслуживание. Поршневые компрессоры требуют осмотра через каждые 500 часов работы, когда винтовые агрегаты обслуживают через 4000-8000 часов работы;

5) Длительный срок службы. За счет простой системы смазки и охлаждения, а также отсутствия системы клапанов винтовой компрессор без ремонта способен работать несколько лет подряд. Как показывает практика, агрегаты могут работать без замены винтовой пары 7-8 лет, когда как за это время в тех же условиях приходится поменять 5 поршневых компрессоров аналогичной производительности.

2. Постановка задачи

Спроектировать систему управления винтовым компрессором, обеспечивающего минимум затрат энергии. Сравнительный анализ существующих аналитических методов оптимизации, в смысле интегрального потребления энергии при наличии ограничений на регулируемые переменные.

Оптимальное управление производится таким образом: выбирается или составляется функционал от функции состояния и управления, накладываются физические ограничения на эти функции и с помощью одного из методов вариационного исчисления определяется управляющее воздействие, минимизирующее или максимизирующее исходный функционал. [1] Существует три основных аналитических методов оптимизации:

- метод вариационного исчисления, предложенный Эйлером;
- метод Беллмана;
- максимума Понтрягина.

Для того чтобы оптимизировать систему управления одним из этих методов необходимо привести достоинства и недостатки этих методов и произвести выбор наиболее подходящего метода.

Метод Эйлера. Метод вариационного исчисления

Вариационное исчисление было предложено Эйлером - известным русским математиком. В вариационном исчислении имеются три основные задачи – это задачи Лагранжа, Майера и Больца. Для преобразование задачи одного вида к какому-либо из двух остальных всегда можно ввести некоторые вспомогательные переменные и многие задачи оптимального управления можно свести к одной из трех указанных задач. Оптимизация систем управления при помощи вариационного исчисления обычно приводит к двухточечной краевой задаче. Недостатком применения вариационного исчисления является ограничение системами, в которых на управляющее воздействие не накладывается каких - либо ограничений.

Метод Беллман

Ричард Беллман предложил свести задачу оптимизации к динамическому программированию. Данный метод приводит к численному решению проблемы оптимизации, при котором не требуется искать решение дифференциального уравнения в частных производных и, таким образом, удается обойти трудности аналитического решения двухточечной краевой задачи.

Метод максимума Понтрягина

Принцип максимума был первоначально получен Понтрягиным при помощи классического вариационного исчисления. Однако он отличается от классической задачи Майера тем, что в задаче Майера управляющие воздействия имеют неограниченные пределы, а в методе Понтрягина управляющие воздействия могут быть элементами замкнутого множества, а именно ограничены некоторыми пределами. Применение принципа максимума не ограничено системами, в которых на управляющее воздействие не наложено ограничений.

Среди многих методов решения проблем оптимизации наиболее эффективными при решении сложных задач обычно считаются два метода: принцип максимума Понтрягина и метод динамического программирования, разработанный Беллманом [1]. Поэтому в дальнейшей планируется получить оптимальный регулятор по методу максимума Понтрягина. Этот метод дает изящный способ получения оптимального решения для широкого класса динамических процессов. Этот принцип позволяет решить проблему оптимизации, требующей отыскания минимума или максимума функционала, подчиненного некоторым ограничениям.

Один из методов расчета оптимального регулятора, является задача управления по минимуму энергии, расчет которой позволит получить регулятор, способный управлять системой с минимальными затратами энергии, при перерегулировании, которые часто происходят на дожимных компрессорных станциях (ДКС). Так как ДКС в основном все удалены от городов, поселков. Располагаются они в таких местах где нет подвода электричества, и электроэнергия вырабатывается посредством генераторов, которые и работают на газе проходящим по газопроводу, поэтому вопрос затраты электроэнергии на станциях очень важен.

3. Для использования метода максимума Понтрягина, необходимо:

- составить упрощенное математическое описание объекта управления, сохраняя основные свойства этого объекта;
- сформулировать критерий оптимальности;
- учесть основные ограничения переменных;
- получить структуру и параметры оптимального регулятора;
- провести имитационное моделирование системы с полученным регулятором.

Литература:

1. Юлиус Ту. Современная теория управления/ Пер. с англ. Я.Н.Гибадулина. Под редакцией В.В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1971.
2. Суринович В.К. Машинист технологических компрессоров: Учебник для учащихся профтехобразования и рабочих на производстве / В.К. Суринович, Борщенко Л.И. - М.: Недра, 1986. ~ 280 с.
3. Газоперекачивающие агрегаты и компрессорные установки. Группа ГМС компрессоры http://www.hms-compressors.ru/products/by_design/screw_compressor_installation/screw_compressors_oil_flooded/oil_filled/

КОНСТРУКЦИИ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ

Т.В. Грызунова, Е.С. Кучер
Новосибирский государственный технический университет,
kucher@corp.nstu.ru

В представленной статье рассматриваются возможные типы механизмов поворота солнечной батареи, рассматривается блок-схема системы

управления поворотным механизмом солнечной батареи, и их конструктивные особенности.

This article present possible types of solar battery rotation mechanisms are considered, a block diagram of a solar battery rotation control system, and their design features.

В современной ситуации альтернативная энергетика является перспективным направлением, вопрос, касающийся создания солнечной электростанции уже давно решен, сейчас остается проблема эффективности этих установок. Зачастую солнечные панели устанавливаются неподвижно в южном направлении. С точки зрения простоты и экономии средств — это безусловно хорошее техническое решение, позволяющее упростить установку системы, но не эффективное, т.к. приводит к неполноценному использованию электрической энергии. Это связано с тем, что существуют определенные временные интервалы, особенно это можно часто наблюдать в период межсезонья. [1]

Для того чтобы решить данную проблему, необходима система для постоянного регулирования солнечной панели по направлению к солнцу, в этом случае на солнечный модуль солнечные лучи будут попадать непрерывно. Данные системы называют электромеханическими системами солнечных батарей или солнечными трекерами.

Трекеры для солнечных батарей бывают нескольких конфигураций, при этом они руководствуются разными видами алгоритмов и имеют разные виды приводных механизмов. Исследователи выделяют два типа поворотных механизмов: с возможностью вращения вокруг одной оси и с возможностью вращения в двух плоскостях так называемые одноосевые и двухосевые механизмы. [2]

В одноосевых механизмах (рисунок 1) лежит следующий принцип данный механизм имеет возможность перемещения строго в одном направлении угла. Эти трекеры наиболее распространённые и простые но не самые с точки зрения энергоэффективности не самые лучшие. Тогда при разработке и установке механизма необходимо учитывать, что ось должна быть параллельна оси Земли, для наиболее эффективной работы. Недостатком данного механизма является его регулирование вручную, а именно в периоды межсезонья, когда рассчитываются оптимальные углы наклона в данное время и года и выставляется наиболее оптимальный угол наклона.

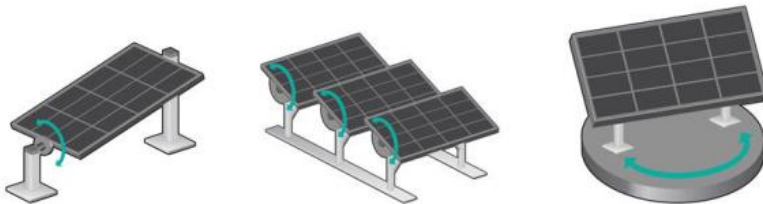


Рисунок 1 – Одноосевые трекеры СБ

В следящих системах с двумя осями (рисунок 2) солнечные лучи падают перпендикулярно солнечной установке.



Рисунок 2 – Двухосевой трекер СБ

В солнечных установках следящие системы используют двигатели контролируемые микроконтроллерами или более сложные системы с использованием GPS навигации. В качестве двигателя обычно применяются шаговые двигатели, серводвигатели.

Устройства, в которых используется система слежения за солнцем должна быть снабжена различными датчиками, которые в свою очередь могут различаться по виду, типу и конструктивным особенностям.

Электропривод системы солнечных батарей состоит из множества частей, а именно непосредственный объект управления солнечная батарея (СБ), датчика положения Солнца, блока управления для получения информации и выработки сигналов управления для двигателя.

Ниже (на рисунке 1) приведена блок-схема системы управления. Стоит отметить, что для управления поворота в обеих осях используется одна и та же схема. Различия между ними заключается лишь в разных видах датчиков положения Солнца и разных двигателях.

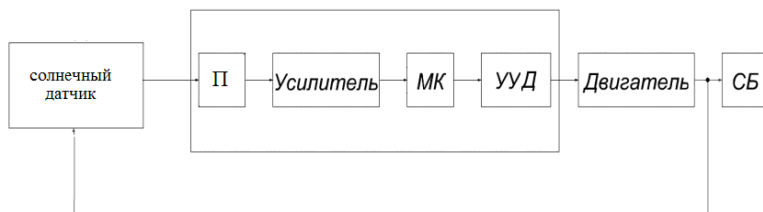


Рисунок 3 – Блок схема системы управления СБ

Данная схема состоит из преобразователя, который преобразует ток в напряжение, усилитель импульсов, микроконтроллер, устройство управления двигателем (УУД), двигатель, и объект управления в виде солнечной батареи, так же имеется обратная связь по солнечному датчику, который отвечает за угловое положение солнца в определенный момент времени.

В современном мире существуют несколько видов датчиков положения солнца. Данный датчик может использоваться фоторезисторами или фотоэлементами. Типичный датчик положения солнца представлен на рисунке 4.[3]

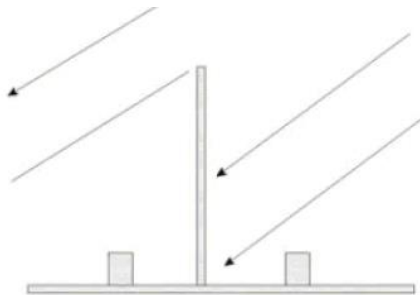


Рисунок4– Схема датчика положения Солнца

При работе блок управления непрерывно считывает интенсивность света через аналого-цифровой преобразователь.

Рассмотрение конструктивных особенностей солнечных трекеров показывает, что в каждом конкретном случае необходимо более детальное сравнение, но в бедующей модели установкой лучшим решением является выбор двухосевой системы слежения на базе шагового двигателя.

Литература:

1. Грызунова Т.В., Кучер Е.С. Автоматизированный электропривод солнечных установок, 2019 г. НГТУ
2. <https://solarsoul.net/treker-dlya-fotoelektricheskix-ustanovok> - трекары фотоэлектрических установок
3. Скороходов, Автономная система слежения за солнцем для солнечной энергосистемы/ М.В. Китаева

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ВЫХОДЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ГАЗОВОГО КОМПРЕССОРА

К.Г. Губская, В.М. Кавешников

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

Рассматривается постановка задачи проектирования системы регулирования давления на выходе центробежного газового компрессора в процессе получения сжиженного природного газа (СПГ), обеспечивающей работу компрессора без помпажа методами автоматического управления режимом работы компрессора.

The problem of designing a pressure control system at the outlet of a centrifugal gas compressor in the process of obtaining liquefied natural gas (LNG), which ensures the operation of the compressor without surging by automatic control of the compressor operating mode, is considered.

Энергетическая промышленность в современном мире развивается быстрыми темпами. Сегодня природный газ в сжиженном виде является, одним из самых перспективных направлений развития энергетики в мире, так как он обладает рядом преимуществ по сравнению с другими видами топлива и сырья, а также является более чистым источником энергии.

Производство и сбыт СПГ стремительно набирает обороты. Развиваются проекты, ориентированные на самый емкий рынок Азиатско-Тихоокеанского региона. Проект «Ямал СПГ» — интегрированный проект по добыче, сжижению и поставкам природного газа мощностью 16,5 млн тонн на ресурсной базе Южно-Тамбейского месторождения [2]. Сжиженный газ с Севера будет поставляться морским путем в Западную Европу и на рынки Азиатско-Тихоокеанского региона.

Также активно развивается партнерство с компанией KOGAS в области поставок СПГ из Российской Федерации в Республику Корея.

Проект «Владивосток-СПГ», который предполагает строительство в районе Владивостока завода по производству сжиженного природного газа мощностью 10 млн тонн в год [2].

На рынок Европы и Латинской Америки нацелен строящийся в районе морского порта Усть-Луга «Балтийский СПГ» — завод по сжижению природного газа в Ленинградской области мощностью 10 млн тонн.

Для обеспечения стабильной работы, рынок СПГ требует решений высокой надежности, основанных на новейших технологиях. Ключевым элементом, обеспечивающим непрерывное производство СПГ, является центробежный компрессор. Как правило, он выполняет многоступенчатое сжатие природного газа для его последующего хранения и транспортировки.

Принцип действия центробежных компрессоров основан на динамическом сжатии газообразной среды [1]. Основным элементом данного оборудования является ротор, оснащенный валом с рабочими колесами, расположение которых симметрично. Рабочее тело подается на центральную часть компрессора. В процессе работы оборудования, на частицы газа действует сила инерции, которая возникает благодаря наличию вращательного движения, совершаемого лопатками колеса [1]. При этом происходит перемещение рабочего тела от центра к периферии, в результате чего газ сжимается и приобретает скорость. Последующее сжатие происходит в круговом диффузоре, где кинетическая энергия преобразуется в потенциальную. На следующем этапе газ поступает в обратный направляющий канал и подается на следующую ступень установки.

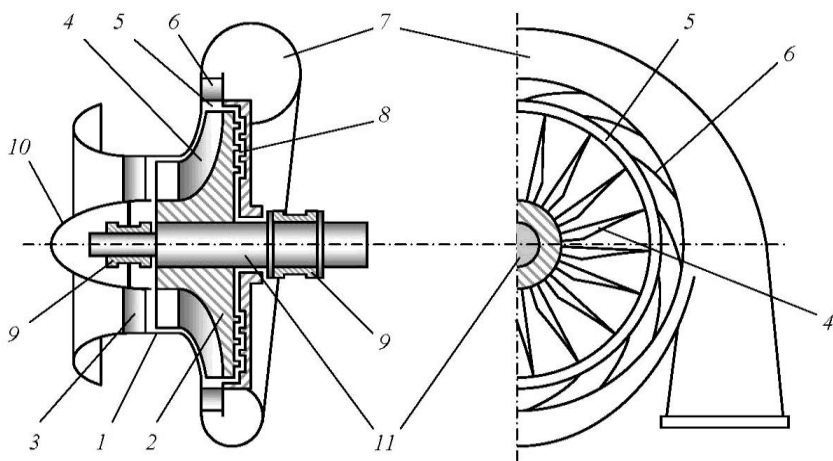


Рис. 1 - Устройство центробежного компрессора:

- 1 – корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – входной направляющий аппарат;
 4 – рабочие лопатки; 5 – безлопаточный диффузор; 6 – направляющие лопатки; 7 – улитка с концевым диффузором; 8 – уплотнения;
 9 – подшипники; 10 – обтекатель; 11 – вал компрессора.

Недопустимым явлением для компрессоров является помпаж, который сопровождается быстрым ростом температуры газа, появлением сильных толчков и вибрации, что в конечном итоге может привести к разрушению компрессора [3]. В настоящее время широко используются перепускные клапаны горячего газа, которые выполняют основную функцию антипомпажной защиты, оставаясь полностью закрытыми до отправки сигнала о сбросе давления. Такой сигнал обуславливает открытие клапана для рециркуляции потока из промежуточного компрессора в линию всасывания компрессора, исключая помпаж и последующие механические повреждения. Постановка задачи:

Разработать систему автоматического регулирования давления на выходе центробежного газового компрессора, обладающего определенными характеристиками и обеспечивающего отсутствие помпажа.

При разработке системы предполагаются использования следующих методов:

1. методы электромеханики;
2. методы частотного регулирования асинхронного двигателя;

3. методы ТАУ;
4. методы имитационного моделирования.

В ходе разработки предполагается решение следующих задач.

1. Анализ принципов работы и устройства реальных центробежных газовых компрессоров.
2. Анализ существующей технологии получения СПГ.
3. Разработка функциональной схемы системы регулирования давления.
4. Выбор основных элементов системы: двигатель, преобразователь частоты, датчик давления, регулятор.
5. Разработка принципиальной электрической схемы.
6. Разработка математического описания компрессора с учетом явления помпажа.
7. Имитационное моделирование системы.

Результаты анализа текущего состояния рынка СПГ подтверждают актуальность выбранной темы работы. На основании представленных данных будет разработана система автоматического регулирования давления на выходе центробежного газового компрессора с алгоритмом защиты от помпажных явлений. Будет представлена имитационная модель системы, которая описывает процессы, протекающие при сжатии воздуха, заложенные в систему управления, доказывающая работоспособность и требуемое качество проектируемой системы.

Литература:

1. *Дурнов П.И.* Насосы, вентиляторы, компрессоры. – Киев: Вища школа, 1985. - 264 с.
2. *Майорец М., Симонов К.* Сжиженный природный газ – будущее мировой энергетики. – М.: Альпина Пабlishер, 2013 - 360 с.
3. *Черкасский В. М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. 2-е изд., перераб. и доп.— Москва: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЭСКАЛАТОРА

С.С. Жук, Е.С. Кучер

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sergey.zhuk.97@mail.ru

В статье показана актуальность перехода к экономичным регулируемым электроприводам эскалаторов, обоснование применения двигателей переменного тока и выбор системы управления электроприводом эскалатора.

The article shows the relevance of the transition to economical adjustable escalator drives, the rationale for the use of AC motors and the choice of an escalator electric drive control system.

В наше время энергосбережение является одной из важнейших задач. Для таких энергоемких установок как эскалатор, снижение энергозатрат при сохранении объема перевозок является важной задачей на сегодняшний день. Эскалаторы - одна из самых больших и дорогих машин, которые люди используют регулярно, но они также и самые простые. На самом базовом уровне эскалатор - это просто разновидность конвейерной ленты. Пара вращающихся цепных петель тянет серию лестниц в постоянном цикле, перемещая множество людей на небольшое расстояние с хорошей скоростью.

В настоящее время эскалаторы используются по всему миру, так как они способны перемещать очень большое количество людей, в сравнении с теми же лифтами. Их можно разместить в том же физическом пространстве, что и лестница. [1] Один из плюсов использования эскалатора, что при выходе из строя или потери питания, его можно использовать как обычную лестницу, тогда как многие другие способы передвижения становятся бесполезными. Эскалаторная система не так хороша, как лифт, при подъеме людей на десятки этажей, но она намного лучше при перемещении людей на короткие расстояния. Это связано с высокой степенью загрузки эскалатора. Как только лифт заполнен, вам нужно дождаться, пока он достигнет своего этажа и вернется, прежде чем кто-либо еще сможет войти. На эскалаторе, как только вы загружаете одного человека, появляется место для другого.

Системы эскалатора снабжены множеством устройств безопасности, которые автоматически останавливают эскалатор, отключая электрическое питание двигателя и применяя тормоз в случае возникновения проблемы. Когда устройство безопасности останавливает эскалатор, проблема должна быть устранена и неисправность устранена до перезапуска системы. [2]

Особенностью режима работы эскалатора является существенно переменная нагрузка ЭП в течении суточного цикла работы. В часы пик пассажиропоток максимальный и нагрузка ЭП эскалатора наибольшая, а при снижении количества пассажиров, например, в вечернее время, нагрузка существенно снижается и эскалатор работает практически в холостую. Улучшить энергетические показатели недогруженного асинхронного двигателя можно за счет снижения питающего напряжения, обеспечивающего уменьшение намагничивающего тока, потерь в меди и стали. Регулирование напряжения статора может быть обеспечено полупроводниковым преобразователем.

Двигатели постоянного тока требуют существенных затрат при покупке и эксплуатации. С развитием полупроводниковой электроники, появилась возможность производства недорогих микропроцессорных преобразователей частоты, с помощью которых стало возможно полноценно управлять скоростью двигателями переменного тока в широком диапазоне регулирования. [3] Системы управления движением с использованием двигателей переменного тока и преобразователей частоты, обходятся дешевле и проще подобных систем управления двигателями постоянного тока. Замена привода на более современную версию может сократить расход энергии напрямую.

Электропривод существующих эскалаторных установок представляет собой асинхронный двигатель с фазным или короткозамкнутым ротором. АД с фазным ротором используется в установках, где необходим высокий пусковой момент. А там, где длина полотна эскалатора относительно не велика, используют асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

При выборе и проектировании системы управления электроприводами, прежде всего, необходимо исследовать и учесть условия и особенности их эксплуатации. Отдельно рассматривая требования к безопасности и надежности необходимо обратиться к «ГОСТ Р 54765 ЭСКАЛАТОРЫ И ПАССАЖИРСКИЕ КОНВЕЙЕРЫ», по которому к эскалатору выдвигаются следующие требования: [4]

- номинальная скорость движения несущего полотна должна быть не более 0,75 м/с;

- для эскалаторов с углом наклона более 30° номинальная скорость должна быть не более 0,5 м/с;

- допускается увеличение номинальной скорости пассажирских конвейеров до 0,90 м/с при условии, что ширина пластин или ленты не превышает 1,10 м, а у входных площадок пластины или лента движутся горизонтально на участке не менее 1,60 м;

- привод должен приводить в движение не более одного эскалатора;

- привод эскалатора/пассажирского конвейера тяжелого режима работы должен быть рассчитан на непрерывную работу в течение 140 ч в неделю;

- при пуске эскалатора/пассажирского конвейера должен обеспечиваться плавный разгон несущего полотна с ускорением не более $0,75 \text{ м/с}^2$;

- замедление движущегося на спуск лестничного полотна эскалатора, пластинчатого полотна или ленты наклонного пассажирского конвейера при торможении не должно превышать 1 м/с^2 ;

Для системы управления эскалатором согласно ГОСТ Р 54765 должна быть предусмотрена возможность следующих отказов: [5]

1. Обесточивание;
2. Падение напряжения;
3. Обрыв цепи;
4. Замыкание цепи на землю;
5. Короткое замыкание, изменение значения или функции элементов электрических цепей, таких как резистор, конденсатор, транзистор, контроллер;
6. Отсутствие притяжения или неполное притяжение подвижного якоря контактора или реле;
7. Отсутствие отделения подвижного якоря контактора или реле;
8. Неразмыкание контакта;
9. Незамыкание контакта;
10. Неправильное подключение фаз.

Электропривод эскалаторов, как правило, имеет один главный двигатель и один вспомогательный электродвигатель малой мощности, используемый для перемещения ленты с малой скоростью во время ремонтно-наладочных работ.

Характерной особенностью работы эскалаторной установки является существенное изменение пассажиропотока в течении дня. Нагрузка электродвигателей эскалатора пропорциональна пассажиропотоку и является неравномерной в течении суток. Максимальные пики нагрузки наблюдаются вечером и утром.

В дальнейшей работе планируется расчет требуемой мощности двигателя, выбор асинхронного двигателя, составление математического описания АД, разработка векторной системы управления.

Одним из важных условий выбора способа регулирования электроприводом эскалатора является момент сопротивления. Особенностью эскалаторных систем является динамический момент сопротивления, что является фактором выбора векторной системы

управления. Для контроля скорости на валу двигателя устанавливается датчик скорости. В местах с прерывающимся пассажиропотоком устанавливают датчики движения, с помощью которых система при отсутствии людей замедляет движение полотна для уменьшения энергозатрат.

Литература:

1. Интернет-источник: <https://ru.qaz.wiki/wiki/Escalator>
2. Интернет-источник: <http://www.electrical-knowhow.com/2012/04/escalators-basic-components-part-two.html>
3. Интернет-источник: https://lomonosov-msu.ru/file/event/5809/eid5809_attach_dfea5fa0b65824b1f9dd5dc5b3908057163da243.pdf
4. Интернет-источник: https://allgosts.ru/91/140/gost_r_54765-2011
5. Интернет-источник: <http://g-ost.ru/51864.html>

РАЗРАБОТКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК

А.А. Макаров, Б.М. Боченков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, andrew10011@rambler.ru, bochenkov@ngs.ru**

Работа посвящена разработке железнодорожного стенда для испытания тормозных колодок, предложено улучшение его характеристик с помощью имитации дополнительных инерционных масс, с помощью специальных алгоритмов управления стендом.

The research is devoted to develop a railway stand for testing brake pads, the proposed improvement of its characteristics by using algorithms for stand management.

В настоящее время железная дорога является наиболее популярным видом транспортировки грузов и перевозки пассажиров. Перед железнодорожным транспортом обозначены сложные и ответственные задачи по дальнейшему увеличению количества перевозимых грузов и пассажиров, обеспечения выполнения плана перевозок пассажиров и грузов, увеличение эффективности и повышение качества всей эксплуатационной работы.

Увеличенные скорости и объёмы перевозок, являются поводом для проведения различных исследований и конструкторских разработок для модернизации тормозной системы локомотива.

Решение этой проблемы связано с износостойкостью элементов тормозного узла колодочного типа.

Несмотря на то, что колодочному тормозу столько же лет, сколько и самой железной дороге, он и в наши дни является самым распространённым тормозным механизмом на железнодорожных вагонах и локомотивах.

Тормозные колодки в основном изготавливаются двух видов: чугунные и композиционные.

Композиционные тормозные колодки, применяются гораздо более широко, чем чугунные, так как их коэффициент трения выше, усилие нажатия меньше, гораздо выше срок службы, а небольшой вес и стоимость обеспечивают торможение поезда плавно и бесшумно.

Однако при эксплуатации тормозных композиционных колодок весной и осенью, их эффективность уменьшается.

В последнее время большое внимание уделяется разработке и внедрению контрольно-диагностического и испытательного оборудования, обеспечивающего проверку параметров в автоматическом режиме с регистрацией параметров на электронном носителе, что позволяет переносить их в базу данных системы «Электронный паспорт локомотива». При этом повышаются качество и достоверность испытаний за счет исключения влияния человеческого фактора, снижается время проведения испытаний и следовательно, трудоёмкость этих работ.

Испытательные стенды позволяют путём многочисленных испытаний определить различные свойства, пригодность к эксплуатации, качество производства и широкий список параметров испытуемого изделия, в нашем случае тормозных колодок, в их рабочем режиме.

Цель заводских испытаний - проверка работы отдельных узлов тормозного механизма и его конструкции в целом. Также во время испытаний определяются ходовые качества, динамические силы, пригодность локомотива к эксплуатации.

На данный момент существует огромное количество испытательных стендов, которые по своим техническим характеристикам могут проводить испытания тормозной системы подвижного состава с определенным весом. Но из-за повышения нагрузки на тормозные механизмы, вследствие повышения спроса на транспортировки грузов и пассажиров, не каждый стенд может обеспечить правильную имитацию веса подвижного состава для испытания тормозных колодок. Следовательно, возникает вопрос об увеличении маховых масс. На большинстве стендов увеличить маховые массы не представляется

возможным, либо такая модернизация стенда экономически не выгодна предприятию. Предлагается решить данную проблему с помощью имитации дополнительных маховых масс с помощью электродвигателя испытательного стенда, благодаря этому решению можно более эффективно и с наименьшими затратами улучшить характеристики испытательного стенда. Следовательно, испытательный стенд будет соответствовать всем современным требованиям, и главным образом он станет более функциональным. Эксплуатация такого стенда будет довольно дешевой и надежной.

Для имитации дополнительных маховых масс и достижения необходимого момента инерции производится разработка алгоритма управления двигателя и алгоритмы управления стенда.

В данной статье предлагается два варианта алгоритма управления стендом.

Один из них основан на сигнале с инкрементального энкодера. Следовательно, необходимо определить ускорение вращения вала. Чтобы определить ускорение вала двигателя есть несколько способов. Первый это установка датчика углового ускорения. Второй проведение двукратного дифференцирования сигнала с датчика положения энкодера. Недостатком этого алгоритма является увеличение интервала дискретизации датчика положения, при снижении частоты вращения, что существенно ограничивает диапазон рабочих скоростей.

Второй алгоритм использует сигнал с датчика тормозного момента.

Математическими преобразованиями сигнал задания вращающего момента двигателя может быть сформирован в соответствии с произведением тормозного момента на коэффициент пропорциональности.

С помощью имитации дополнительных инерционных масс путем применения данных алгоритмов управления испытательным стендом его диапазон характеристик и функциональных возможностей расширится, и теперь позволит испытывать тормозные колодки для многотонных подвижных составов и локомотивов. В дальнейшем планируется разработка дополнительных алгоритмов управления стендом. Будет произведён выбор алгоритма с учётом эффективности и экономических соображений

Литература:

1. Иванов Л.Б. Синтез системы управления тяговыми электродвигателями: Учеб.пособие / Л.Б. Иванов, Н.В. Мурашкин, О.Н. Тюкина, Е.В. Мо-штакова, В.А. Яллай, Н.М. Сенник. - Псков: ПГПИ им. С.М. Кирова, 2014. - 96 с.

2. О разработке нормативной документации в сфере перевозок опасных грузов/ А.М. Островский, А.М. Лисютин. ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

3. Федеральный закон РФ от 23.11.2009 г. №261-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» (в ред. от 25.12.2016 г.).

4. Указ Президента РФ от 04.06.2008 г. №319 «О мерах по обеспечению экономической безопасности и национальных интересов Российской Федерации при осуществлении международных транзитных перевозок грузов»

ЭЛЕКТРОННЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ С ПОЛНЫМ ПРИВОДОМ

В.Н. Бутенко, М.Е. Мосин, И.В. Чернов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mosin.for.work@yandex.ru

Электротранспорт получает всё большее распространение в мире, а применение двух или более двигателей в транспортном средстве для оптимального управления требует наличие электронного дифференциала. Для увеличения показателей управляемости желательно применение отдельных контролируемых электродвигателей для каждого колеса транспортного средства. Целью данной статьи является разработка электронного дифференциала, позволяющего управлять каждым из двигателей 4х колёс одновременно, по индивидуальным алгоритмам для каждого колеса. Применение электронного дифференциала с 4мя двигателями позволит обеспечить наилучшие динамические показатели управления по сравнению с полноприводный автомобилем с механическим дифференциалом.

Electric vehicles are becoming more and more common in the world, and the use of two or more engines in a vehicle requires an electronic differential for optimal control. To increase the handling performance, it is desirable to use separate controlled electric motors for each wheel of the vehicle. The purpose of this article is to develop an electronic differential that allows control each of the 4-wheel engines simultaneously, according to individual algorithms for each wheel. The use of an electronic differential with four engines will provide the best dynamic control performance compared to a four-wheel drive car with a mechanical differential.

Одним из вариантов конструктивного исполнения ведущих осей в электромобиле является полный привод, то есть когда ведущими являются обе оси: передняя и задняя. Полный привод в отличие от переднего и заднего имеет некоторые существенные преимущества,

такие как высокая курсовая устойчивость, лучшая управляемость автомобилем, лучшая среди всех типов привода проходимость, а также самый эффективный старт с места, особенно в условиях низкого сцепления шин с дорогой. Помимо всего вышеперечисленного вариант исполнения электромобиля, при котором каждое колесо приводится во вращения своим электродвигателем, позволяет распределить массу всего транспортного средства, приходящуюся на каждую ось, в соотношении 50/50. Такое распределение массы считается оптимальным для достижения лучшей управляемости.

Применение индивидуального привода для каждого колеса имеет те же трудности, что и были, когда приводной являлась только задняя ось транспортного средства.

В момент совершения поворота каждое колесо проходит разное расстояние, то есть движется по дуге окружности с разными радиусами. Если в этот момент все четыре колеса будут вращаться с одинаковой скоростью, то некоторые колеса, находящиеся на внутренних радиусах, начнут проскальзывать, что, безусловно, приведет к ухудшению управляемости. В таком случае необходимо распределить скорости каждого колеса, чтобы они соответствовали своему радиусу траектории, то есть разработать электронный дифференциал для каждой оси, являющийся аналогом механического дифференциала.

Определить, с какой скоростью должно вращаться каждое колесо, можно, проанализировав модель траектории движения автомобиля (рисунок 1).

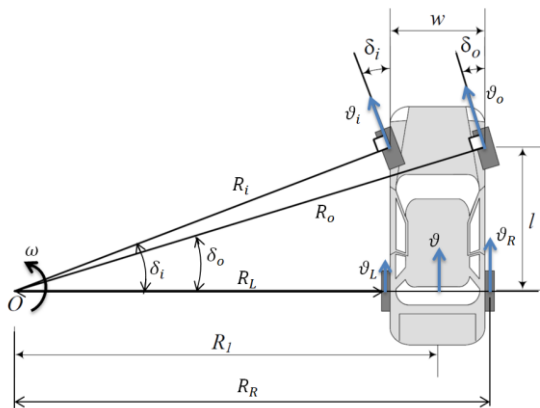


Рисунок 1– Модель траектории движения

В данной модели рулевого управления (рисунок 1) применяется принцип Аккермана, который заключается в том, что при повороте

передние колеса поворачиваются на разный угол таким образом, что в момент поворота каждое колесо движется по дуги окружности, центры которых находятся в одной точке [1].

Анализируя данную модель и пользуясь базовыми принципами геометрии и механики, рассчитываем скорости каждого колеса в зависимости от угла поворота руля.

$$\omega_i = \omega_{\text{зад}} \frac{tg\delta}{\sin\delta_i} \quad (1)$$

$$\omega_o = \omega_{\text{зад}} \frac{tg\delta}{\sin\delta_o} \quad (2)$$

$$\omega_R = \omega_{\text{зад}} \left(1 + \frac{w \cdot tg\delta}{2l}\right), \quad (3)$$

$$\omega_L = \omega_{\text{зад}} \left(1 - \frac{w \cdot tg\delta}{2l}\right), \quad (4)$$

где δ_i и δ_o – углы поворота внутреннего и наружного передних колес, являющиеся функцией угла поворота руля δ .

Получив зависимости скорости каждого колеса от угла поворота руля, можем составить структурную схему электронного дифференциала, которая будет показывать, как распределяются сигналы задания на каждый двигатель колес в момент поворота [2]. Структурная схема электронного дифференциала представлена на рисунке 2.

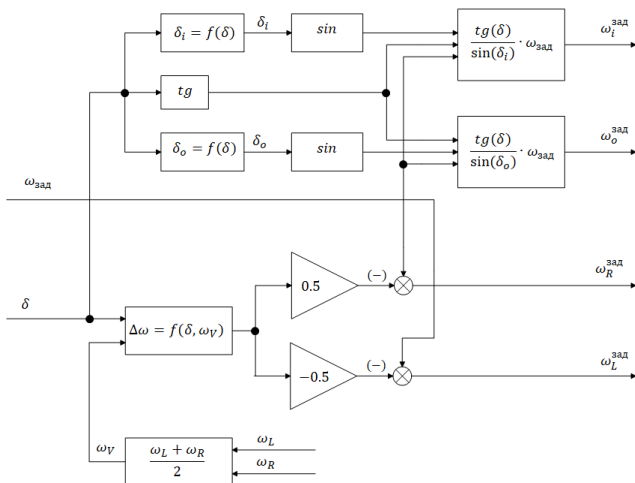


Рисунок 2. Структурная схема электронного дифференциала

При повороте в положительном направлении (положительным будем считать поворот против часовой стрелки) угол $\delta > 0$. Таким образом, скорость колес, находящихся на внутреннем радиусе, уменьшается по отношению к заданной скорости $\omega_{\text{зад}}$, а скорость колес, находящихся на наружном радиусе, увеличивается. Таким образом, реализуются функции дифференциала колес.

После вычисления сигналов задания скоростей каждого колеса, эти сигналы подаются на системы управления двигателями. Каждый приводной двигатель имеет свою систему управления. В качестве способа управления используется векторное управление, так как оно позволяет достигать оптимального быстродействия при изменении задающих и возмущающих сигналов. В качестве двигателей выбраны асинхронные двигатели.

В ходе дальнейшей работы будет произведено цифровое моделирование системы, получены графики переходных процессов. Также будут настроены коэффициенты регуляторов так, чтобы в переходных процессах по скорости снизить величину перегулирования до минимума, при этом попытаться настроить время регулирования максимально быстрым.

Литература:

1. Jazar R.N. (2008) Steering Dynamics. In: Vehicle Dynamics: Theory and Application. Springer, Boston, MA.
2. L. Zhai and S. Dong. "Electronic Differential Speed Steering Control for Four In-wheel Motors Independent Drive Vehicle," in Proc. the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation, Taipei, China, pp. 780-783, 2011

РАЗРАБОТКА РОТОРНОГО ПАРКИНГА ДЛЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Р.А. Мосин, Е.С. Кучер

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, justmilky@mail.ru, kucher@corp.nstu.ru**

Статья посвящена обоснованию актуальности развития транспортной инфраструктуры при помощи использования автоматизированного паркинга, в частности роторного паркинга. Представлены основные преимущества автоматизированных систем паркинга над традиционными, а так же описаны общие сведения о принципе работы роторной парковки. Определены

дальнейшие пути решения проблемы так же спланирована дальнейшая работа в ходе разработки парковочной системы с последующим моделированием частной системы под требования определенных климатических условий.

The article is devoted to the substantiation of the relevance of the development of transport infrastructure through the use of automated parking, in particular rotary parking. The main advantages of automated parking systems over traditional ones are presented, as well as general information about the principle of operation of rotary parking is described. Further ways of solving the problem have been identified, and further work has been planned in the course of developing a parking system, followed by modeling a private system for the requirements of certain climatic conditions.

На настоящий момент в крупных городах с большим количеством транспорта, как личного, так и автомобилей такси и каршеринга, обстановка складывается не лучшим образом для участников дорожного движения. Существует резкая нехватка парковочных мест в черте города, в особенности на центральных и крупных улицах. Произведя анализ состояния транспортной структуры в России были получены статистические данные, по которым всего 35-40% общего количество личного транспорта обеспечено парковочными местами. В связи с бесконтрольной парковкой проезжая часть большого количества улиц не превышает даже 50%, что в свою очередь приводит к значительно меньшей пропускной способности транспортной инфраструктуры. [1]

Наиболее актуальным путем решения данной проблемы на сегодняшний день является замена традиционных парковочных мест на автоматизированные системы с лучшей эффективностью, а так же удобства для их пользователей.

Ниже представлены основные преимущества автоматизированных систем паркинга в сравнении с традиционными [3]:

1. Эффективность застройки

Конструкцией роторной парковки предусматривается размещение до 16-ти платформ для автомобилей, занимая лишь 2-3 традиционных парковочных места. Система управления позволяет обеспечить высокое быстродействие а так же высокую точность установки.

2. Факторы, влияющие на себестоимость

Конструкция автоматизированного паркинга не требует капитальных стен и перекрытий. Каркасом служат «рабочие стеллажи хранения», а в качестве «облицовки» могут применяться любые доступные современные материалы.

3. Модульность

Автоматизированный паркинг, в отличие от традиционного, строится и может вводиться в эксплуатацию модулями. В дальнейшем он

может быть легко расширен по мере возникновения рыночного спроса на машиноместа.

4. Энергопотребление

Автоматизированный паркинг не нуждается в освещении зон хранения автомобилей. Все операции выполняются в автоматическом режиме, без присутствия персонала и непосредственно владельца автомобиля

5. Экологичность

Экологичность – одно из важнейших требований при современном строительстве. Особенно этот вопрос актуален для паркингов, расположенных в жилых застройках. Эксплуатация автоматизированного паркинга предполагает включенные двигатели автомобилей кратковременно и только в местах приема и выдачи автомобиля.

6. Комфортность пользования и инфраструктура

Автоматизированный паркинг обеспечивает безопасное хранение с минимальными временными затратами потребителя при пользовании услугой хранения своего автомобиля. Затраты времени при сдаче автомобиля определяются только временем заезда в зону приёма и выхода водителя из автомобиля. Максимальное время ожидания автомобиля при выдаче – не более 3-ех минут.

Роторная парковка (Рисунок 1) является наиболее оптимальной для модернизации обычных открытых парковок. Из-за своих достаточно малых габаритов, она занимает всего 2-3 парковочных места, но дает возможность для парковки от 8 до 16 автомобилей.



Рисунок 1 – Роторный паркинг вмещающий 8 автомобилей [2]

Чтобы расположиться на стоянке, водителю необходимо захватить ячейку и оставить авто. Система поднимет ячейку выше, а свободное место может занять следующий водитель. Что немаловажно, парковки просты в сборке. Известны случаи, когда их переносили в другие места путем демонтажа и монтажа на новом участке.

Зададимся параметрами автомобилей: общая ширина (с зеркалами) 2150мм, общая высота 2000мм, длина 5200мм, максимальный вес не более 2300кг. Исходя из этих параметров, с учетом небольшого запаса, задаем габариты платформы для перемещения автомобиля, после чего необходимо выбрать принцип расположения парковочных места. Так же необходимо учесть климатические особенности Сибирского региона, режим эксплуатации паркинга составляет от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Приводной механизм роторной парковки представляет собой комплект из электропривода и червячного редуктора, преобразующего и передающего крутящий момент на следующий элемент – приводную шестерню, а так же тормозная система дискового типа. Основное назначение приводного механизма роторной парковки это вертикально-циркуляционное вращение парковочных платформ с автомобилями, поднимая их на определённый уровень, обеспечивая подачу свободной платформы в нижнюю точку для осуществления парковки или вывода автомобиля из парковочной системы. Параметры электропривода определяют быстродействие работы роторного паркинга. А система автоматического регулирования позволяют осуществить плавную работу системы, в частности плавную остановку на требуемом уровне.

В дальнейшей работе планируется приступить к более глубокому изучению работы системы роторного паркинга. В качестве основного исполнительного механизма будет использоваться двигатель переменного тока. Для перемещения платформ роторного паркинга, с наибольшим быстродействием, будет выбран асинхронный электропривод с преобразователем частоты, и подобран соответствующий редуктор. Для определения расположения платформ необходимо воспользоваться датчиками положения, при помощи которых возможно будет обеспечить необходимую точность фиксации платформ, для подачи автомобиля его владельцу. Будет реализован выбор подъемно-передвижного механизма, после чего следует приступить к написанию математического описания процесса и моделированию САУ с тремя контурами регулирования, с учетом выбранных параметров: количество платформ для расположения авто, габариты и вес платформы, а так же возможно допустимые нагрузки при заполнении всех мест автомобилями.

Литература:

1. Науменко Е. Ю. Организация парковочного пространства в общей системе дорожного движения в городах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2012. – 16 с.

2. Строительство парковок. Как построить парковку? Какие виды парковок существуют? [Электронный ресурс] // Компания по проектированию, изготовлению механизированных, автоматизированных, роботизированных парковок ООО «Неопарк». – URL: <http://www.neo-park.ru/stati/publikatsii/stroitelstvo-parkovok/> (дата обращения 11.04.2020).

3. «ИНЖЁР» Конвейер - Производство конвейеров [Электронный ресурс] // Конвейеры производства ООО НПФ «Инжер». – URL: <http://www.inger.ru/avsp1.html> (дата обращения 03.09.2020).

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПУСКА, РЕВЕРСА И РЕГУЛИРОВКИ СКОРОСТИ ДВУХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Е.Д. Рязанова, М.И. Стальная

Алтайский государственный технический университет им. И.И.

Ползунова, г. Барнаул, riazanovaelizavetad@yandex.ru

В данной статье рассматривается компактный частотный преобразователь для двухфазного асинхронного двигателя, с помощью которого можно осуществить пуск, реверс и регулировку скорости двухфазного асинхронного двигателя.

This article discusses a compact frequency converter for a two-phase asynchronous motor, which can be used to start, reverse, and adjust the speed of a two-phase asynchronous motor.

Электрический двигатель является неотъемлемой частью современных устройств, к которым относятся вентиляционные установки, стиральные машины, малые обрабатывающие станки и т.д., т.е. устройства, требующие изменения скорости. В данных устройствах возможно применение двигателей постоянного тока, которые способны решить поставленную задачу. Данные двигатели сложны в обслуживании из-за необходимости своевременной прочистки коллектора от графита, что является трудоёмким процессом. Также для нормальной работы таких двигателей щётки должны находиться под определённым постоянным давлением, которое сложно регулируется. Поэтому в таких установках применяются электрические двигатели переменного тока, к которым относятся однофазные и двухфазные

асинхронные двигатели. Если в процессе работы технологического оборудования необходима регулировка скорости, то в основном используются двухфазные асинхронные двигатели. Данные двигатели обладают следующими преимуществами: простотой обслуживания, отсутствием необходимости дополнительных выпрямляющих устройств, небольшими габаритами и весом. Обычно питание перечисленных выше устройств и двигателей осуществляется от однофазной сети переменного тока. Но при подаче питающего переменного напряжения одновременно на обе статорные обмотки, статор создаёт пульсирующее магнитное поле и пусковой момент отсутствует, а также реверс двигателя при таком подключении невозможен.

Таким образом, возникает задача разработки устройства, которое бы обеспечивало пуск, реверс, торможение и регулировку скорости двухфазного асинхронного двигателя.

Данную задачу способен решить разработанный [1] компактный частотный преобразователь для двухфазного асинхронного двигателя, представленный на рисунке 1.

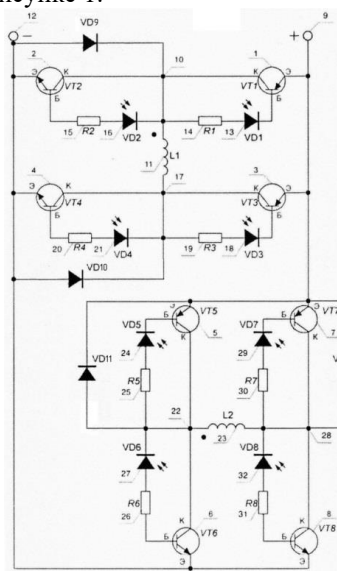


Рис. 1 - Компактный частотный преобразователь для двухфазного асинхронного двигателя

Работа предлагаемого устройства может осуществляться в двух режимах: в режиме классического частотного преобразователя с изменением частоты тактирования в широком диапазоне, а также при дискретном изменении частоты с помощью векторно-алгоритмического метода управления. Так во время работы устройства с помощью векторно-алгоритмического метода управления можно создать векторные диаграммы индуктивности магнитного поля статора на один оборот магнитного поля, которые состоят из трёх, четырёх, шести, восьми векторов магнитной индукции (рисунк 2). Потактовая работа устройства для создания магнитного поля статора, состоящего из восьми векторов магнитной индукции, будет выглядеть представленным на рисунке 3 образом.

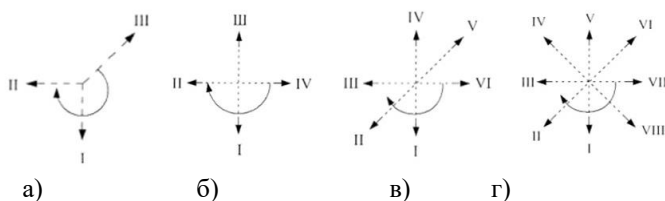


Рис. 2 - Векторная диаграмма магнитного поля статора на один оборот изменения магнитного поля при создании:

- а) трёх векторов магнитной индукции
- б) четырёх векторов магнитной индукции
- в) шести векторов магнитной индукции
- г) восьми векторов магнитной индукции

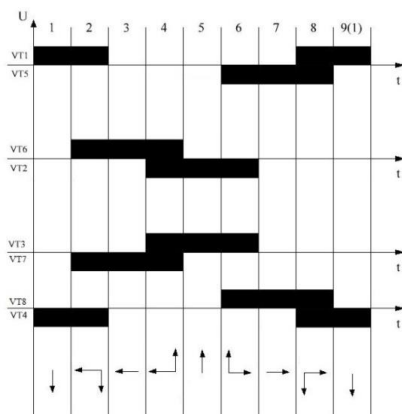


Рис. 3 – Работа разработанного устройства при создании магнитного поля статора, состоящего из восьми векторов магнитной индукции

Для обеспечения создания магнитного поля статора, состоящего из восьми векторов магнитной индукции (рисунок 2г), в первый промежуток времени в первый момент t_1 (рисунок 3) световые сигналы поступают на фотодиоды VD1 и VD4. Соответствующие транзисторы VT1, VT4 открываются. Ток протекает по первой обмотке статора L1. Таким образом, формируется первое I фиксированное положение индуктивности магнитного поля статора.

Во второй момент t_2 транзисторы VT1, VT4 открыты, кроме того световые сигналы поступают на фотодиоды VD6, VD7, таким образом транзисторы VT6, VT7 открываются. Ток протекает по первой обмотке статора L1, а также начинает протекать по второй обмотке статора L2. Таким образом, формируется второе II фиксированное положение индуктивности магнитного поля статора.

В третий момент t_3 перестаёт подаваться световой сигнал на фотодиод VD1, соответствующий транзистор VT1 закрывается, а транзистор VT4 некоторое время остаётся открытым. Ток перестаёт протекать по первой обмотке статора L1. Возникающая при этом ЭДС самоиндукции в первой обмотке статора L1 замыкается по пути: первая обмотка статора L1, транзистор VT4, диод VD9, первая обмотка статора L1. По окончании протекания ЭДС самоиндукции световые сигналы снимаются с фотодиода VD4, транзистор VT4 закрывается. При этом в течение третьего промежутка времени транзисторы VT6, VT7 остаются открытыми. Таким образом, создаётся третье III фиксированное положение индуктивности магнитного поля статора.

В последующие моменты времени транзисторы открываются в соответствии с представленной на рисунке 3 тактовой диаграммой, при этом диоды VD9-VD12 служат для гашения ЭДС самоиндукции, которая возникает при коммутации транзисторов и прекращении протекания тока по одной из статорных обмоток двигателя. Для осуществления функции реверса открытие транзисторов происходит в обратной последовательности.

Таким образом, предлагаемое устройство способно осуществить поставленные задачи, а именно пуск, реверс, регулирование скорости в широком диапазоне, как в плавном, так и в дискретном режиме.

Литература

1. Patent 182963 U1 Russian Federation. Compact frequency converter for single-phase asynchronous motor / Stalnaya M. I., Ivanov I. A., Davydov A. E., Rybalkina T. I., Riazanova E. D.– 2018122572; declared 20.06.2018, published 06.09.2018. – P. 1–14.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА БАЗЕ БЕЗРЕДУКТОРНЫ МОТОР-КОЛЕС

Н.О. Сажин, Б.М. Боченков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 79134754889@yandex.ru, bochenkov@ngs.ru**

Целью работы является разработка индивидуального транспортного средства, предложено улучшение его характеристик с помощью использования безредукторных мотор-колес.

The purpose of the work is to develop an individual vehicle, and it is proposed to improve its characteristics by using gearless motor wheels.

На сегодняшний день в России остро встала проблема с обеспечением инвалидов специальными средствами для передвижения.

Подавляющее большинство кресло-колясок с электроприводом выпускается за рубежом. Наиболее пользующиеся спросом во всём мире коляски с электроприводом выпускаются различными фирмами в Италии, США, Германии и других странах.

Основным недостатком импортных колясок с электроприводом является их очень высокая стоимость. К примеру, модели фирмы “Майра” схожие по технико-экономическим показателям с разрабатываемой коляской стоят от 7 тысяч до 13,5 тысяч долларов.

Целью данной разработки является создание отечественной коляски с хорошими технико-экономическими показателями, высокой манёвренностью, небольшого веса и габаритов, не уступающая импортным аналогам. При этом стоимость такой коляски должна быть меньше, чем стоимость аналогичных зарубежных моделей.

В соответствии с техническим заданием на создание привода движения коляски поставлена цель выбора электродвигателя мотор-колеса, которое могло бы быть установлено на коляске без изменения её габаритных размеров (главным образом по ширине), и могло бы обеспечить необходимые потребительские качества, в частности, движение по негладкой дороге со скоростью до 6 км/ч. Разрабатываемый электропривод предназначен для установки его на коляску с размером шин 406х40. В дальнейшем планируется выпускать специальную конструкцию кресла коляски с размерами шин 205х56 передних и задних колёс, что улучшит проходимость коляски. Также при использовании таких шин снижается требуемый момент, что позволяет уменьшить габариты и массу двигателя. СДМВ с мотор-колесом разработаны при указанных выше номиналах в двух вариантах. В первом варианте применены постоянные магниты на основе феррит-

бариевой композиции, во втором варианте использованы магниты на основе самарий-кобальтовой композиции.

Разрабатываемый электропривод предназначен для установки на кресло-коляску модели 400, 401, выпускаемые Ставровским заводом и другие схожие модели. В дальнейшем возможно производство колясок специальной конструкции с установкой на них разрабатываемого электропривода. За основу может быть взята конструкция коляски “Оптимус” фирмы “Майра” (рисунок 1.4). Данная модель хорошо приспособлена как для передвижения по дому, так и для передвижения по улице. Данная конструкция коляски имеет хорошие ходовые показатели и высокую манёвренность. Диаметр задних колёс по сравнению со стандартной конструкцией несколько уменьшен, передних – увеличен, также увеличена и толщина шин, что увеличивает проходимость коляски.

Привод установлен на передние колёса, что также позволяет увеличить проходимость. Задние колёса могут свободно поворачиваться в соответствии с траекторией движения коляски. При снижении диаметра ведущих колёс снижается требуемый номинальный момент двигателя, что даёт возможность уменьшить массу и габариты двигателя и повысить технико-экономические показатели электропривода. Снижение диаметра колёс до очень малого нерационально, так как при этом уменьшается и проходимость коляски. Сравнивая различные модели колясок с электроприводом можно прийти к выводу, что оптимальным диаметром шин является диапазон от 0,2 до 0,3 м.

Разрабатываемая кресло-коляска оснащена двумя мотор-колёсами, источником питания, блоком электронного регулирования и управления.

Схема управления и регулирования построена на базе микропроцессорной системы, реализованной на микроконтроллере. Применение микроконтроллера позволило существенно упростить принципиальную схему управления и дало возможность достаточно просто изменять параметры схемы управления и регулирования электропривода.

Управление коляской производится с помощью специального джойстика. Задание направления и скорости движения – полностью электронное, без каких-либо физических усилий, что позволяет пользоваться креслом-коляской людям с поражением верхних конечностей и детям.

Система управления и регулирования построена для каждого двигателя в отдельности, что значительно улучшает манёвренность

коляски и даёт возможность полностью электронного управления коляской. Оригинальные алгоритмы управления обеспечивают безопасное движение во всех режимах, возможность рекуперации энергии, повышая тем самым технико-экономические показатели кресла-коляски.

В данной коляске устанавливаются два синхронных мотор-колеса. Применение мотор-колеса позволяет избавиться от редуктора, что повышает технико-экономические показатели электропривода, снижает габариты и массу электропривода, уменьшает шум при движении и повышает надёжность электропривода.

Мотор-колесо представляет собой мехатронный модуль, в котором взаимопроникающе интегрированы собственно колесо, электродвигатель, датчик положения и электромагнитный тормоз.

Электропривод обеспечивает работу во всех четырёх квадрантах скоростной характеристики. Торможение производится с рекуперацией энергии в аккумулятор, что соответственно увеличивает дальность пробега без подзарядки аккумулятора.

Литература:

1. Социальное положение и уровень жизни населения России. Стат. сб. / Госкомстат России.– 2000.– 502 с.
2. ГОСТ 12.2.007.0-75 “Изделия электротехнические. Общие требования безопасности”.
3. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. Уч. для вузов. М., Высшая школа, 1976.– 416 с.
4. Каталог фирмы “Майра” Hauptkatalog Meuga – 342 с.
5. Бродовский В.Н., Иванов Е.С. Приводы с частотно-токовым управлением.–М.: Энергия, 1974.– 168 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ.

Тюменев Р.Р., Шевченко А.Ф.

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ruslan.tuymenev@gmail.com**

В докладе рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности электрических машин общепромышленного назначения. За рубежом практически все асинхронные двигатели работают с преобразователем частоты, т.е. являются

регулируемыми. Дальнейшее повышение энергоэффективности возможно за счёт применения двигателей с постоянными магнитами.

Показано значительное преимущество синхронных двигателей с постоянными магнитами по сравнению с асинхронными по массогабаритным показателям (более двух раз) и по КПД (до двух раз меньше потери в двигателях одинаковой мощности).

Приведено экономическое обоснование замены асинхронного регулируемого электропривода на регулируемый электропривод с постоянными магнитами.

The report discusses the issues of improving the energy efficiency of electrical machines for general industrial purposes. Almost all asynchronous motors abroad operate with a frequency converter, i.e. are regulated. Further improvements in energy efficiency are possible through the use of permanent magnet motors.

A significant advantage of synchronous motors with permanent magnets in comparison with asynchronous motors in terms of weight and dimensions (more than two times) and efficiency (up to two times less losses in motors of the same power) is shown.

The economic rationale for replacing an asynchronous variable electric drive with a variable electric drive with permanent magnets is presented.

Из зарубежных и отечественных источников известно, что до сорока процентов всей произведённой электроэнергии потребляют электрические двигатели.

При этом стоимость потерь электроэнергии в электродвигателе за его жизненный цикл превосходит стоимость самого электродвигателя и работ по его обслуживанию.

Таким образом, развитие промышленного производства, его эффективность и экономичность непосредственно определяются системами высокоэффективных электроприводов, основным элементом которых является электродвигатель.

Использование асинхронных электродвигателей, питаемых от преобразователей частоты, позволяет частично реализовать приведенные выше требования, однако необходимость поддерживать в таких машинах намагничивающий ток снижает эффективность их применения. Более полно обеспечить выполнение приведенных выше требований можно путем замены общепромышленных асинхронных электродвигателей магнитоэлектрическими машинами, работающих как вентильные электродвигатели совместно с преобразователем частоты.

Поэтому разработка и организация серийного производства энергоэффективных управляемых магнитоэлектрических двигателей является весьма актуальной задачей, решение которой будет способствовать рациональному использованию электрической энергии при её электромеханическом преобразовании.

Принципиальная возможность повышения эффективности электрических машин при использовании в системе возбуждения

постоянных магнитов и дробных зубцовых обмоток обусловлена следующим:

- отсутствие намагничивающего тока позволяет повысить активную составляющую потребляемого тока и тем самым увеличить момент и мощность машины при сохранении электромагнитных нагрузок, например, как в асинхронном электродвигателе;
- отсутствие обмоток и токов в роторе снижает общий уровень потерь в машине, что позволяет повысить ее электромагнитные нагрузки, а тем самым снизить габариты и вес машины;
- существенное увеличение полюсности в двигателях с дробными зубцовыми обмотками позволяет уменьшить высоту ярма статора и за счет этого увеличить диаметр расточки статора электродвигателя и повысить развиваемый момент без увеличения внешних габаритов;
- использование дробных зубцовых обмоток позволяет реализовать высокую полюсность машины, о преимуществах которой говорилось выше, а также существенно сократить вылет и длину лобовых частей обмотки и упростить технологию ее укладки.

По сравнению с аналогами – асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором серии АИ, **разработанные двигатели выполнены в меньших на одну ступень габаритах, имеют приблизительно в два раза меньшую материалоемкость и в два раза меньше потерь энергии.** Изображение электродвигателя представлена рисунке 1. И несмотря на то, что в этих электродвигателях добавляются постоянные магниты, суммарная стоимость их материалов оказывается меньше, чем у асинхронных двигателей.

Для иллюстрации вышесказанного ниже приведён сравнительный анализ асинхронных двигателей мощностью 2,2 кВт, 1500 об/мин с двигателями ДСМ аналогичной мощности в таблице 1. Как следует из таблицы, двигатель ДСМ имеет на 240 Вт меньше потерь мощности при работе. Экономия электроэнергии за год работы (приблизительно 7700 часов) составит 1800 кВт* час.

При средней цене электроэнергии 4 руб/кВт час экономия за год составит приблизительно 7400 руб. Таким образом, менее чем за год применение энергоэффективного двигателя полностью окупится.

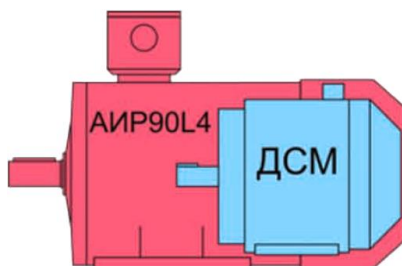


Рисунок1-Электродвигатель АИР 90 L4

Таблица 1. Сравнительная характеристика двигателей ДСМ с аналогами

Основные характеристики	ДСМ	Зарубежные аналоги		Отечественные аналоги		
		1LE1002 Siemens	1LA7 Siemens	АИР90 L4 Асин. дв	АДМ9 0L4 Асин. дв	4А90 L4 Асин. дв
КПД %	90	79,7	82	81	78	82
Cos φ	0,84	0,81	0,82	0,83	0,8	0,83
Масса (кг)	7	18	21	19,7	17,9	21

Предполагается, что эти двигатели должны заменить асинхронные двигатели с частотным преобразователем и двигатели постоянного тока.

Литература:

1. Шевченко А. Ф. Многополюсные синхронные машины с дробными q меньше 1 зубцовыми обмотками с возбуждением от постоянных магнитов / А. Ф. Шевченко // Электротехника. – 2007. – № 9. – С. 3–9.
2. Особенности конструкции и проектирования энергоэффективных магнитоэлектрических электродвигателей общепромышленного назначения / А. Ф. Шевченко [и др.] // Электротехника. – 2014. – № 12. – С. 41–44.
3. Пат. 2059994 РФ, МПК Н 02 К 019/12. Синхронный электродвигатель / А. Ф. Шевченко. – № 4037981; заявл. 17.03.1986; опубл. 10.05.1996, Бюл. № 13. – 6 с.
4. Приступ А. Г. Исследование пульсаций момента синхронных магнитоэлектрических машин с дробными зубцовыми обмотками / А. Г.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭЛЕКТРОБУСА

Р.А. Угрюмов, В.Н. Аносов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ugryumovroman1996@gmail.com**

В статье показана актуальность перехода от городского автотранспорта на двигателях внутреннего сгорания к электробусам передвигающихся на двигателях переменного тока, обоснование применения двигателей переменного тока и выбор системы управления электроприводом эскалатора.

The article shows the relevance of the transition from urban vehicles powered by internal combustion engines to electric buses running on AC motors, the rationale for the use of alternating current motors and the choice of an escalator electric drive control system.

В настоящее время очень резко стоит вопрос экологии. Население планеты становится всё больше и больше, а следовательно и население городов увеличивается. В связи с этим возникает проблема экологии в городах-мегаполисах, большая загруженность дорог и пробки приводят к огромным выбросам углекислого газа в атмосферу. На смену шумным и вредным двигателям внутреннего сгорания приходят тяговые электродвигатели постоянного или переменного тока. Они намного тише в процессе эксплуатации, от них нет выбросов вредных веществ, а так же КПД электродвигателя намного выше он может достигать 90-95%.

Значительным минусом электродвигателей является необходимость в электрической энергии, которая приводит электродвигатель во вращение. Необходимо устанавливать на борт электробуса аккумуляторные батареи, что значительно сокращает место и увеличивает вес электробуса. Решением этой проблемой может стать быстрые или ультрабыстрые зарядные станции которые будут располагаться на остановках общественного транспорта и будут заряжать батареи в процессе когда пассажиры выходят и заходят в электробус. Использование небольших аккумуляторных батарей большой мощности сохраняет пассажироместимость электробуса. В условиях крупного мегаполиса с большой нагрузкой на общественный

транспорт, особенно в часы пик. Такая ультрабыстрая зарядка занимает от 6- 15 минут.

Для выбора основных компонентов электробуса необходимо задать исходные данные. Максимальное количество пассажиров перевозимое электробусом за раз должно быть 85 человек, за основу выберем троллейбус Камаз-6282 масса троллейбуса составляет 18 тонн, а максимальная скорость 70 км/ч. Данные параметры и будут братья для расчетов параметров электродвигателя, преобразователя частоты а так же аккумуляторной батареи.

Рассчитав по исходным данным параметры электродвигателя, для разработки тягового привода электробуса подходит асинхронный двигатель АТЧД-250, его параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры двигателя АТЧД-250

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	380
Тип	Переменного тока, асинхронный
Номинальная мощность, кВт	150
Номинальная частота вращения, об/мин	1800
Ток, А	265
Число полюсов	4

Для того чтобы спроектировать преобразователь необходимо рассмотреть несколько способов построения силовой схемы цепей. На основе исходных данных которые указаны выше. Данные условия задачи для разработки преобразователя частоты:

- мощности преобразователя должны соответствовать мощности тягового электродвигателя;
- нужно сделать так, чтобы напряжение, подводимое к электродвигателю, имело свой диапазон изменения;
- так же следует допустить изменения диапазона тока ТЭД во всём диапазоне скоростей;
- защита токоограничением, таким же как и на двигателе.
- защита двигателя от перенапряжения;
- помехозащищённость.

Для ультрабыстрой зарядки в условиях резко континентального климата отлично подойдут суперконденсаторы. Для литий-ионных аккумуляторов очень пагубно влияние быстрой зарядки и не менее быстрой разрядки. Ёмкость батареи при очень частых зарядах и

разрядах уменьшается, а следовательно падает дальность автономного хода. У суперконденсаторов в свою очередь большой запас зарядно-разрядных циклов. А так же они намного лучше переносят большие перепады температур.

Литература:

1. Корягина Е. Е., Коськин О. А. Электрооборудование трамваев и троллейбусов. – М.: Транспорт. 1982. – 296с.
2. Розенфельд В.Е. Теория электрической тяги. /В.Е.Розенфельд, И.И.Исаев, Н.Н.Сидоров – М.: Транспорт. 1983.– 328с.
3. Ефремов И. С., Косарев Г. В. Теория и расчет электрооборудования подвижного состава городского электрического транспорта. - М.: Высшая школа, 1976. – 480с.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

**РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ БАГАНСКОГО
РАЙОНА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

С.А. Бурманов, В.В.Бирюков

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, burmanov99@bk.ru**

В настоящее время газовая промышленность является одной из наиболее динамичных и бурно развивающихся отраслей. Природный газ широко применяется для газоснабжения городов и промышленных предприятий, так как он обладает рядом преимуществ по сравнению с другими видами топлива и сырья. Однако многие районы России до сих пор не газифицированы и нуждаются в таком важном энергетическом ресурсе как газ.

Currently, the gas industry is one of the most dynamic and rapidly developing industries. Natural gas is widely used for gas supply to cities and industrial enterprises, as it has a number of advantages over other types of fuel and raw materials. However, many regions of Russia are still not supplied with gas and need such an important energy resource as gas.

Целью исследований является разработка оптимального варианта схемы газоснабжения Баганского района, проводимого на базе результатов анализа потребления газа населением, организациями и предприятиями, с целью разработки оптимальной трассировки газовых сетей.

Баганский район – муниципальное образование в юго-западной части Новосибирской области на севере Кулундинской степи, для которой характерен сглаженный рельеф со слегка приподнятыми гривами. Численность населения района – 16580 человек (2010 год).

Одним из возможных путей газификации муниципального образования с небольшой численностью населения является присоединение их к близлежащим потребителям путём продления существующих газовых магистралей пониженного давления. Тупиковые сети представляют собой газопровод, разветвляющийся по различным направлениям непосредственно к потребителям газа. По мере удаления от источника газоснабжения или газораспределительной станции (ГРС) давление газа в тупиковых сетях падает, в результате потребители могут получить газ с недостаточным давлением. Главным недостатком тупиковых схем является малая ремонтпригодности. Кроме того, при возникновении аварийной ситуации на участке газопровода без поставок газа остается вся ветвь [1].

Существенным достоинством тупиковых схем является экономическая составляющая: из-за отсутствия необходимости кольцевать газопровод затраты на его сооружение значительно снижаются. На рисунке 1 приведена предлагаемая схема системы газоснабжения (без наложения на карту).

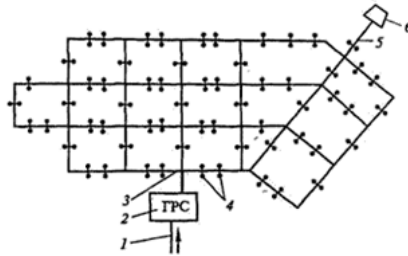


Рис. 1 - Схема тупиковой системы газоснабжения
1 - магистральный газопровод; 2 - ГРС; 3 - кольцевые газопроводы;
4 - ответвления к потребителям; 5 - тупиковые газопроводы,
6 - индивидуальный потребитель газа

Как известно, на территории населенных пунктов газопроводы прокладываются, как правило, под землей. Надземная и наземная прокладка допускается внутри жилых кварталов и дворов, а также на других отдельных участках трассы. На территории промышленных предприятий прокладка наружных газопроводов осуществляется, как правило, над землей. При газификации Баганского района целесообразно прокладываются подземные газопроводы низкого давления, тупиковые участки по экономическим соображениям следует проектировать надземными.

Газифицировать сельский населенный пункт предполагается природным газом следующего состава горючих компонентов: метан – 95%, этан – 1%; пропан – 1%, бутан – 0,75%, углекислый газ – 0,3%, азот + редкие газы – 1,95%.

Количество потребителей газа в различных категориях по микрорайонам выявляется на основе анализа их населенности, этажности застройки и её основных характеристик, численности и характеристик предприятий и учреждения городского хозяйства, наличия централизованного горячего водоснабжения, характеристик отопительных систем, топливного и теплового баланса города [1].

Согласно расчетам для газоснабжения жилого сектора сельского населенного пункта требуется 25113,6 тыс.м³ /год, расчетный часовой расход газа составляет 8749,8 м³ /ч; расход газа на нужды отопления и вентиляции 3501,6 тыс.м³ /год газа, расчетный часовой расход газа со-

ставляет 6469,8 м³/ч; расход газа на коммунально-бытовые нужды 4104 тыс.м³/год газа, расчетный часовой расход газа составляет 2280 м³/ч; для газоснабжения котельных требуется 21651 тыс.м³/год газа, расчетный часовой расход газа составляет 4920 м³/ч [2].

Распределение газа по сети осуществляется наиболее сложным оборудованием – газораспределительной станцией, технологическая схема соединения элементов которой приведена на рисунке 2. Проведённые расчёты показали, что в системе газоснабжения Багана целесообразно использовать газораспределительную станцию типа ГРС-10.

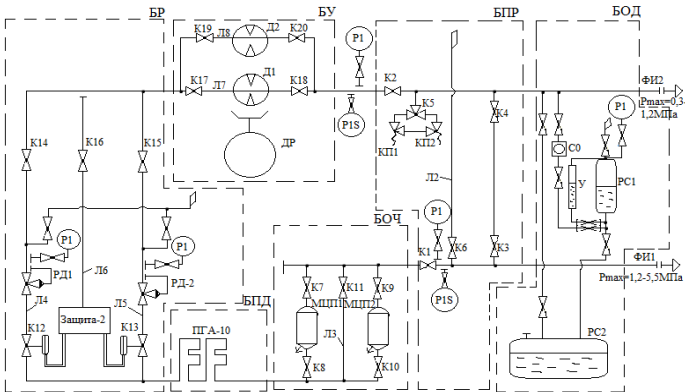


Рис. 2 – Схема оборудования технологического процесса ГРС-10

ГРС-10 предназначена для снижения высокого давления, очистки, одоризации и измерения количества газа перед подачей его потребителю. Станция предназначена для эксплуатации на открытом воздухе в районах с сейсмичностью не более 9 баллов по шкале MSK – 64, с умеренным климатом в условиях, при температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 50°С.

ГРС-10 работает следующим образом. Газ высокого давления, подаваемый из подводящего трубопровода, поступает в блок переключения, состоящий из газопроводов, байпасной линии с двумя вентилями, узла предохранительных клапанов с трехходовым краном, пробковых кранов с ручным приводом и манометров. При подаче газа потребителю через байпасную линию редуцирование газа осуществляется вручную с помощью вентилей.

Из блока переключения газ направляется в огневой подогреватель газа типа ПГ-10. Подогретый газ поступает в узел очистки, где с помощью фильтров очищается от механических примесей, а затем направля-

ется в блок редуцирования. Все узлы блока редуцирования, как и блока подогрева, расположены в металлическом шкафу.

В блоке редуцирования находятся две редуцирующие нитки (рабочая и резервная) с регулятором давления типа РДУ-50 краны пробковые как с ручным, так и с пневматическим приводом, мультипликатор и узлы управления к ним, сбросный клапан, щит с электроконтактными манометрами, щит автоматики и защиты, фильтры-осушители для командного газа. Из блока редуцирования газ поступает в узел учёта газа камерными диафрагмами типа ДК-200, регистрируется расход газа дифманометрами-расходомерами. Затем газ попадает в блок одоризации, где установлен одоризатор типа УОГ-1.

ГРС оборудована системой дистанционной аварийной сигнализации для контроля за работой основных узлов станции. Контроль за режимом работы блоков осуществляется датчиками, связанными кабельными линиями с передающим устройством дистанционной аварийной сигнализации, установленной в блоке контрольно-измерительных приборов (КИП).

В качестве запорной арматуры для трубопровода следует использовать задвижки с электроприводом, что обеспечивает автоматизацию управления, при которой исключается влияние субъективного фактора на систему. Задвижка – это элемент трубопроводной арматуры, с помощью которой перекрывают и регулируют поток вещества, транспортируемого по магистрали [3].

В процессе работы были рассчитаны объёмы потребления газа, подобрана запорная арматура и газораспределительная станция, проведена трассировка газовых сетей, подходящая под выбранную тупиковую схему газоснабжения. Принятие инженерных решений было основано на выборе оптимального варианта организации систем газоснабжения поселка в условиях существующих тенденций развития современных энергосберегающих технологий и перспектив развития муниципального образования.

Литература:

1. Ионин А.А. Газоснабжение – М.: Стройиздат, 1989 г. – 439с.
2. Газоснабжение районов, городов: метод. указания для выполнения курсового и дипломного проектирования / сост. Е.В. Сыщанко.- Вологда: , 2016.- 40 с.
3. Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н. Справочник по газоснабжению и использованию газа – Л.: Недра, 1990 г.- 762 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ШКОЛЬНОГО АВТОБУСА

С. А. Внук, **В. В. Бирюков**

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, abakan.1998@mail.ru

Гибридный автомобиль – автомобиль, использующий для привода ведущих колёс более одного источника энергии. Современные автопроизводители часто прибегают к совместному использованию двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя, что позволяет избежать работы ДВС в режиме малых нагрузок, а также реализовывать рекуперацию кинетической энергии, повышая топливную эффективность силовой установки. Другой распространённый вид гибридов – автомобили, в которых ДВС совмещён с двигателями, работающими на сжатом воздухе.

A hybrid vehicle is a vehicle that uses more than one power source to drive the drive wheels. Modern car manufacturers often resort to the combined use of an internal combustion engine and an electric motor, which avoids the operation of the internal combustion engine in low load mode, as well as realize kinetic energy recovery, increasing the fuel efficiency of the power plant. Another common type of hybrids is cars in which the internal combustion engine is combined with compressed air engines.

Гибридный автомобиль сочетает в себе преимущества электромобиля и автомобиля с двигателем внутреннего сгорания: большой коэффициент полезного действия электромобилей (80-90 % по сравнению с 35-50 % у автомобилей с ДВС) и большой запас хода на одной заправке автомобиля с ДВС.

Существуют *типовые схемы* по методу подключения двигателей и накопителя к приводу:

– **Последовательная:** по сути, является модификацией электромеханической трансмиссии с добавлением промежуточного накопителя. Двигатель внутреннего сгорания механически соединён только с электрогенератором, а тяговый электродвигатель – только с колёсами.

– **Параллельная:** и двигатель внутреннего сгорания, и электродвигатель механически соединены с колёсами посредством дифференциала, который обеспечивает возможность как их работы по отдельности, так и совместно. Характеризуется простотой (возможно применение вместе с механической коробкой передач) и низкой стоимостью.

– **Последовательно-параллельная:** двигатель внутреннего сгорания, генератор и электродвигатель механически связаны друг с другом и с колёсами посредством планетарного редуктора, что позволяет произвольно изменять потоки мощности между этими узлами.

Существуют *типовые схемы* по типам накопителей:

– **Электрические** (на основе электрохимических аккумуляторов, на основе инерционных накопителей).

– **Механические** (на основе пневматических аккумуляторов, гидроаккумуляторов с пневматическим накопителем, на основе инерционных накопителей).

В качестве *промежуточного накопителя*, помимо аккумуляторных батарей, также могут использоваться батареи конденсаторов и ионисторы (суперконденсаторы). В случае применения накопителя энергии значительной ёмкости гибридный автомобиль имеет возможность двигаться без включения двигателя внутреннего сгорания – в “режиме электромобиля”. В случае, если зарядка накопителя может производиться не только от основного двигателя, но и от электрической сети, говорят о “подключаемом гибриде”.

Главное *преимущество гибридного автомобиля* – снижение расхода топлива и вредных выбросов, что достигается полной автоматизацией управления работой двигателей с помощью бортового компьютера – начиная от своевременного отключения двигателя во время остановки в транспортном потоке, с возможностью немедленного возобновления движения без его запуска, исключительно на запасённой в накопителе энергии, и заканчивая более сложным механизмом рекуперации – использование кинетической энергии движущегося автомобиля при торможении для зарядки накопителя при работе электродвигателя в режиме электрогенератора. Как и в случае с электромеханической трансмиссией, двигатель внутреннего сгорания, как правило, работает на оптимальных режимах.

Для обеспечения заданного цикла движения электробуса была смоделирована в программной среде “Matlab” принципиальная электрическая схема, изображённая на рис. 1.

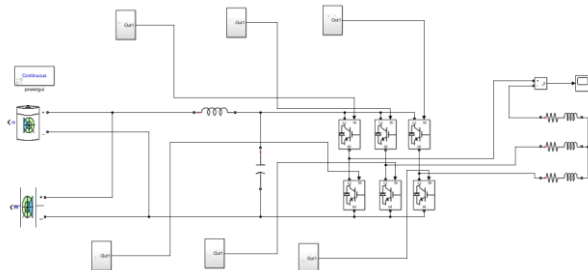


Рис. 1 – Принципиальная электрическая схема электробуса

Данная схема состоит из: литий-ионного аккумулятора, суперконденсатора, дросселя, конденсатора, 6 транзисторных ключей трёхфазного преобразователя, отвечающего за регулирование подводимой к двигателю энергии, 6 блоков сравнения управляющих сигналов, подводимых к базам IGBT-транзисторов, тягового электрического двигателя, смоделированного из 3 резисторов и 3 дросселей.

В результате работы схемы на осциллографе был получен переходный процесс, представленный на рис. 2.

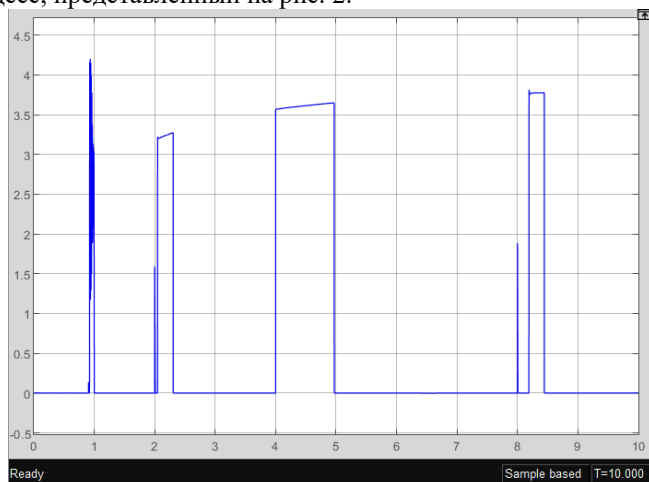


Рис. 2 – График зависимости напряжения от времени: $U=f(t)$

Данная зависимость свидетельствует о том, что напряжение имеет синусоидальный характер, встречающийся в результате моделирования принципиальных электрических цепей переменного тока.

Литература:

1. Бирюков В.В. Тяговый электрический привод: учеб. пособие / В.В. Бирюков, Е.Г. Порсев. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 314 с.
2. Щуров Н.И. Теория электрической тяги: Учеб. Пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 100 с.
3. Овсянников Е.М. Тяговые электрические системы автотранспортных средств: учеб. пособие / Е.М. Овсянников, А.П. Фомин. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. – 303 с.

ОБЗОР ГРАВИТАЦИОННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

В.А. Еланакова, О.В. Нос

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, veraelanakova@gmail.com

В работе представлен обзор возможных способов аккумулирования энергии с использованием гравитационной энергии. Отмечены достоинства, недостатки и отличительные особенности каждой из технологий. Представлены главные требования и ограничения в области применения гравитационных накопителей энергии.

The paper presents an overview of possible ways of storing energy based on gravitational energy. The advantages, disadvantages and distinctive features of each of the technologies are highlighted. The main requirements and limitations in the application range of gravity energy storages are presented.

Одной из современных тенденций развития отечественной и мировой энергетики является увеличение доли производства электрической энергии за счет использования возобновляемых источников, к числу которых относят солнечное излучение, энергию ветра, морские приливы и т. д., характеризующиеся непостоянством и случайным характером периодов генерации мощности, зависящих, например, от времени года. При этом суточный график нагрузки, как правило, также описывается классом сложных нелинейных стохастических функций, что приводит к необходимости применения специальных устройств аккумуляции электрической энергии, позволяющих согласовать значительные неравномерности производства и потребления электрической энергии в различные периоды времени. Таким образом, накопитель энергии, являясь одним из необходимых составляющих в цепи производства электроэнергии, обеспечивает выравнивание графиков нагрузок в сети, а также бесперебойное снабжение особо важных объектов и сглаживает колебания мощности [1].

Гравитационный накопитель энергии представляет собой техническое устройство, базовые принципы работы которой основываются на первоначальном преобразовании электрической энергии, потребляемой извне, в потенциальную энергию за счёт вертикального подъёма массивных грузов, и ее последующую отдачу при спуске в моменты пиковой нагрузки на энергосистему. Среди возможных концепций построения систем аккумулирования энергии с использованием гравитационной энергии, можно выделить гравитационные твердотельные накопители энергии и гравитационные жидкостные накопители энергии [1].

Гравитационный твердотельный накопитель энергии представляет собой новое техническое устройство в области систем «зеленой» гене-

рации. Энергию, запасённую при поднятии твёрдых и массивных тел, можно высвободить за очень короткое время, при этом время хранения однажды запасённой энергии практически неограниченно. Ограничение на получаемую мощность таких устройств накладывает только ускорение свободного падения, определяющее максимальный темп нарастания скорости падающего груза.

Данная технология, по сравнению с наиболее часто применяемыми на практике гидроаккумулирующими станциями, обладает рядом конкурентоспособных преимуществ, к числу которых относятся более низкие первоначальные инвестиционные и дальнейшие эксплуатационные затраты; возможность строительства на любой равнинной местности или встраивание в отработанные шахтные стволы; КПД стандартного цикла составляет не менее 80 %; безопасная и экологическая чистота в процессе работы; устойчивость конструкции к сейсмическим и ветровым нагрузкам. Недостатком же таких систем является необходимость обеспечения длинного пути подъёма груза, который должен быть свободным и достаточно прямым, а также необходимо исключить возможность случайного попадания в эту область посторонних предметов [3].

За последние годы было предложено несколько технических концепций, основанных на использовании гравитационного твердотельного накопителя. Швейцарская технологическая компания “Energy Vault” разрабатывает прототип системы с гравитационным накопителем, в котором используется шестилучевой кран для подъёма бетонных блоков в вертикальном направлении на высоту 33-этажного здания. Существует также технология практической реализации гравитационного накопителя энергии в виде железнодорожного накопителя, предложенного американской компанией “ARES”. Такой подход позволяет использовать отработанные системы железнодорожного электрического транспорта, но для размещения такого аккумулятора энергии необходима обширная территория, рельеф которой характеризуется перепадом высот. В гравитационной системе накопления энергии, разрабатываемой шотландской компанией “Gravitricity”, избыточная электрическая энергия возобновляемых источников преобразуется в потенциальную за счёт вертикального подъёма объемных масс в стволе шахты. Однако, следует отметить, что к настоящему времени, ни один из этих концептов не был реализован ни в промышленных масштабах, ни в виде единичных экземпляров.

Конструкция гравитационных жидкостных накопителей позволяет отказаться от создания прямых шахт большого сечения на всю высоту подъёма, поскольку жидкость способна перемещаться и по изогнутым трубам, сечение которых должно быть лишь достаточным для прохож-

дения по ним максимального расчётного потока. Поэтому верхний и нижний резервуары необязательно должны размещаться друг под другом, а могут быть разнесены на достаточно большое расстояние [2].

Срок хранения энергии в жидкостных гравитационных накопителях гораздо меньше, чем в твердотельных и составляет от нескольких дней до нескольких лет, это обусловлено испарением рабочей жидкости из резервуаров. Кроме того, такие системы требуют больших затрат на поддержание их в надлежащем техническом состоянии, прежде всего это касается герметичности резервуаров и трубопроводов, исправности запорного и перекачивающего оборудования.

Технологии использования гравитационных жидкостных накопителей в системах аккумулирования энергии посвящены разработки энергетических компаний. Например, немецкая компания Gravity Energy AG намерена построить хранилище электроэнергии мощностью 1 МВт, для аккумуляции электроэнергии в шахте глубиной около 100 метров, будет подниматься поршень весом около 6000 тонн. Поршень будет приводиться в движение насосами, электроэнергию для которых вырабатывают солнечные и ветряные электростанции, а рабочей средой для системы будет служить обычная вода. В будущем, с помощью таких гравитационных аккумулирующих систем, компания рассчитывает покрыть большие потребности в накоплении энергии, которые появляются в следствие перехода на возобновляемые источники энергии и отключения электростанций, работающих на ископаемых видах топлива. Это позволит обеспечить стабильную и непрерывную работу «зеленых» мощностей и надежность местных электросетей.

Таким образом, гравитационные накопители энергии представляют собой перспективное направление в области систем аккумулирования энергии. В связи с этим особую актуальность имеет разработка принципов построения и организации специализированных мехатронных модулей для данного типа устройств, а также алгоритмов управления ими, что позволит использовать гравитационный накопитель энергии в качестве эффективного и экономически целесообразного технического средства для компенсации суточных или сезонных колебаний потребляемой мощности.

Литература:

1. A. Berrada, K. Loudiyi. Gravity Energy Storage– Elseiver, 2019. – 186 p.
2. Cava F., Kelly J. Storing Energy with Special Reference to Renewable Energy Sources– Elseiver, 2016. – 590 p.

3. Botha C.D., M.J.Kamper. Capability Study of Dry Gravity Energy Storage// Journal of Energy Storage. – 2019. – N. 23. – P. 159-174.

ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО БОЛЬШОЙ ВМЕСТИМОСТИ КАК ОДИН ИЗ ПУТЕЙ РЕШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДОРОГ

А.И. Жданова, В.В. Бирюков

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск mrvzsshk@gmail.com**

В настоящее время одной из проблем городов с различной численностью населения является наряду с ухудшением экологической обстановки постоянное снижение пропускной способности магистралей в связи с резким ростом автомобилизации населения. Одним из путей решения этой проблемы является увеличение доли экологически чистого транспорта большой вместимости, каким является используемый уже более ста лет трамвай.

At present, one of the problems of cities with different population sizes is, along with the deterioration of the ecological situation, a constant decrease in the throughput of highways due to a sharp increase in the motorization of the population. One of the ways to solve this problem is to increase the share of environmentally friendly transport of large capacity, which is the tram that has been used for more than a hundred years.

Проводимые статистические исследования говорят о том, что рост количества автотранспорта индивидуального пользования приводит к постоянному снижению показателя их наполняемости, которая в настоящее время не превышает 1,2 человека на один автомобиль. В то же время увеличение численности проживающих в населённых пунктах жителей вызывает возрастание транспортной подвижности, что приводит к росту парка транспортных средств и, как следствие – к возрастанию плотности транспортных потоков. При этом увеличение количества подвижного состава на дорогах происходит преимущественно за счёт индивидуальных транспортных средств, что в свою очередь приводит к уменьшению скоростей движения и снижению пассажиропотока. Поскольку расширения проезжей части улиц практически невозможно, транспортный коллапс становится неизбежным практически во всех городах. Обычно начинается он с утреннего и вечернего пиков, достигая впоследствии всего дня.

Анализ показывает, что существует несколько способов решения проблемы транспортных заторов на дорогах: применение транспортных развязок на перекрёстках, одностороннего движения по улицам, выде-

ление отдельных полос движения для транспортных средств различных категорий и т. д. Однако все эти решения позволяют временно снизить напряжённость на дорогах. Радикальным способом решения проблемы является использование для массовых перевозок пассажиров транспортных средств большой вместимости при движении их на обособленных полотнах. С учётом капитальных затрат на строительство и эксплуатационных расходов наиболее подходящим для этих целей является трамвай большой вместимости [1].

Наметившаяся в последнее время тенденция к повышению комфортности проезда пассажиров транспортных средств большой вместимости, проявляется, прежде всего, в стремлении к максимальному понижению уровня пола салона подвижного состава. Специфика конструктивного исполнения ходовых частей трамваев позволяет понизить уровень пола только в районе дверей, что неизбежно приводит к появлению в салоне ступеньки для перехода с область пола над тележками. Такое решение является вынужденным и создаёт ограничения для перемещения по салону людей с ограниченными физическими возможностями, в частности – инвалидов-колясочников.

Наиболее радикальным решением проблемы снижения уровня пола является изменение конструкции тележек, которые применены, например, фирмами «Bombardier», «Kawasaki», а также на трамвайном вагоне УВЗ 71-409 уральского вагоностроительного завода [2], приведённой на рис. 1.

Отличительной особенностью данных тележек является то, что они – неповоротные и тяговый привод в них располагается между колёсами, образуя своего рода модули. При этом в тележке отечественного производства в отличие от зарубежных применён индивидуальный привод колёс. Такое конструктивное решение позволяет сократить производственные площади для изготовления ходовых частей.

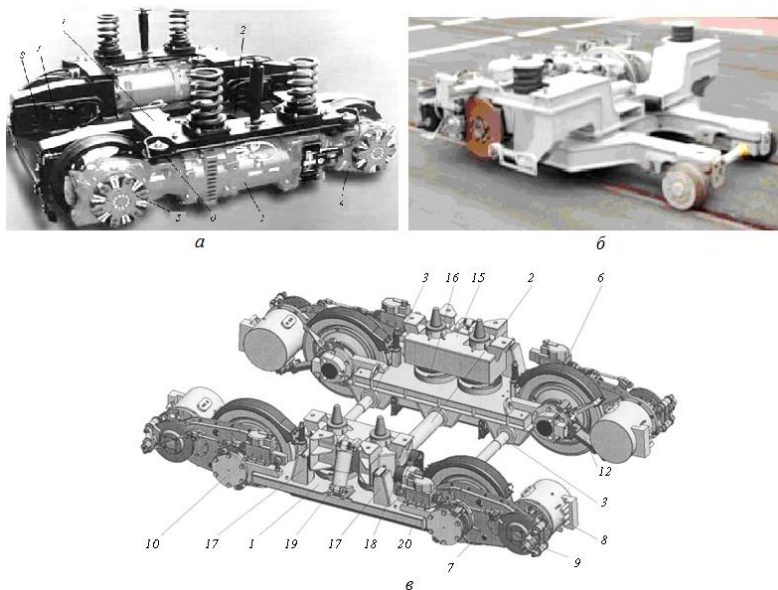


Рис. 1 – Конструкции тележек
а – «Bombardier»; *б* – «Kawasaki»; *в* – УВЗ 71-409

Увеличения вместимости подвижного состава трамвая можно добиться известным способом – применением шарнирно сочленённых кузовов [2]. Один из вариантов такого исполнения вагона трамвая модели 71-633 производства Усть-Катавского вагоностроительного завода имени С.М. Кирова приведён на рис. 2.

На нём применены поворотные тележки, на которые опираются головная и хвостовая кузовные секции и промежуточная укороченная вставка. Длина секций лимитирована условиями вписывания в кривые минимального радиуса. Кроме того, применение поворотных тележек не позволило понизить уровень пола салона.

Использование неповоротных тележек под кузовом позволяет увеличить длину укороченной вставки, повысив тем самым вместимость секции. Несмотря на то, что использование неповоротных тележек укорачивает длины головной и хвостовой секции, общая вместимость трамвайного вагона может быть увеличена за счёт наращивания количества вставок. На рис. 3 показан вариант исполнения трамвая вместимостью 300 пассажиров, рассчитанный по методике [2].

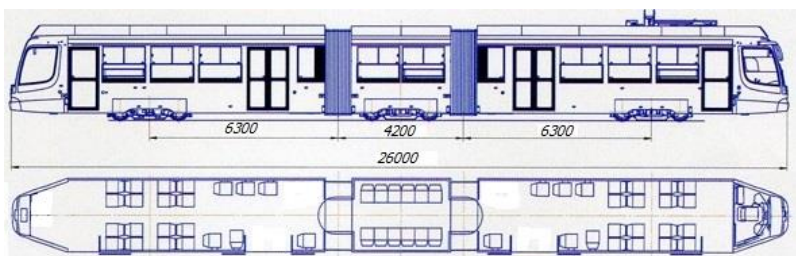


Рис. 2- Трамвайный вагон модели 71-633



Рис. 3- Трамвайный вагон вместимостью 300 пассажиров

Принятый вариант конструктивного исполнения вагона не окончательный, поскольку для маршрутов, заканчивающихся в центральной части городов потребуется значительная территория для разворота подвижного состава, что не целесообразно по соображениям архитектурно-градостроительного благоустройства. Поэтому необходимо проработать вариант размещения двух постов управления. Это повлечёт за собой изменения в планировке салона, поскольку потребуется установка дверей по обоим бортам кузова.

Кроме того, необходимо обосновать тип привода по роду тока (постоянного или переменного), а также рассчитать параметры элементов силовой цепи (мощность тягового двигателя, тип и схемное решение преобразователя и т. д.), обеспечивающих различные режимы движения (пуск, торможение). При этом необходимо учитывать, что в целях сокращения потребления энергии, оборудование электрической части привода должно реализовывать режим рекуперативного торможения, а для приёма энергии трамвай должен иметь накопитель.

Литература:

1. *Ефремов И.С.* Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов. / И.С.Ефремов, В.М.Кобозев, В.А.Юдин. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с., ил.
2. *В.В.Бирюков* Конструкция и расчёт механического оборудования электроподвижного состава: учебник / В.В.Бирюков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 492 с. (Серия «Учебники НГТУ»).

ГОЛОВНАЯ НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 5 МЛН. ТОНН В ГОД

А.Д. Карновский, В.В. Бирюков
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, druna.909909@yandex.ru

Головная насосная станция (ГНС) – начальная насосная станция нефтепровода с емкостью, осуществляющая операции по приему нефти с нефтепромысловых предприятий для дальнейшей транспортировки магистральному нефтепроводу. В состав технологических сооружений головной перекачивающей станции входят: резервуарный парк, подпорная насосная, узел учета, магистральная насосная, узел регулирования давления, фильтры-грязеуловители, узлы с предохранительными устройствами, а также технологические трубопроводы.

ГПС предусматривается располагать на площадках центральных пунктов подготовки нефти, вблизи резервуарных парков с использованием существующих систем энергоснабжения, водоснабжения, канализации и других вспомогательных сооружений, если это не противоречит специальным нормам. При параллельной прокладке нефтепроводов проектируемые площадки НПС совмещаются с площадками действующего нефтепровода.

The head pumping station (HPS) is the initial pumping station of an oil pipeline with a tank, which carries out operations to receive oil from oil-processing enterprises for further transportation to the main oil pipeline. The technological structures of the head pumping station include: a tank farm, a booster pumping station, a metering unit, a main pumping station, a pressure control unit, mud filters, units with safety devices, as well as technological pipelines.

It is planned to locate the FPS at the sites of the central oil treatment points, near the tank farms using the existing power supply, water supply, sewerage and other auxiliary systems, if this does not contradict special standards. In case of parallel laying of oil pipelines, the projected sites of the PS are combined with the sites of the existing oil pipeline.

ГНС расположена в начале нефтепровода и работает только по схеме "через емкость" или "с подключенной ёмкостью", с возможностью работы, в случае необходимости, по схеме "из насоса в насос".[1]

Головная нефтеперекачивающая станция магистрального нефтепровода должна располагать емкостью в размере от двухсуточной до трехсуточной производительности нефтепровода.

Полезная ёмкость (объём) резервуарных парков определяется согласно рекомендациям с учетом коэффициента полезной ёмкости, который равен отношению полезного объема резервуара к строительному номиналу. Полезный объём резервуара определяется по нормативным

верхним и нижним уровням, рассчитываемым по времени, необходимому для выполнения оперативных действий.

Оборудование резервуаров должно обеспечивать технологические операции по заполнению их нефтью и опорожнению, защиту от повышения и понижения давления в газовом пространстве, защиту от распространения пожара, тушение пожара. Перечень оборудования для различных типов резервуаров определен "Правилами..." [2]. Применение компенсаторов на приемораздаточных патрубках резервуаров для ограничения усилий, передаваемых технологическими трубопроводами на резервуары, определяется проектом в зависимости от диаметров подводящих трубопроводов, емкости резервуаров и условий эксплуатации.

Схемы технологических трубопроводов резервуарных парков должны обеспечивать опорожнение резервуаров, коллекторов резервуарного парка и подпорной насосной с помощью подпорных или зачистных насосов, а также предусматривать проектные решения, исключающие попадание газоздушных пробок из подводящих трубопроводов в резервуары, оснащенные плавающими крышами или понтонами.

Автоматическая защита от перелива должна обеспечивать закрытие задвижек на линиях подачи нефти в резервуар при достижении в нем максимального уровня нефти и открытие задвижки на линии сброса в аварийный резервуар. Настройка максимального уровня производится ниже уровня (аварийного), допускаемого несущей способностью резервуара, на величину, соответствующую количеству нефти, которое может поступить в резервуар за время закрытия задвижки налива, а также с учетом температурного расширения нефти.

Группы резервуаров обваловываются. Внутри группы допускается прокладка технологических трубопроводов, обслуживающих резервуары данной группы. Не допускается транзитная прокладка трубопроводов через соседние обвалования группы резервуаров. Устройство фланцевых соединений технологических трубопроводов и размещение задвижек в пределах обвалования (за исключением коренных) не допускается. [3]

Конструктивные решения по ограждению каре резервуарных парков определяются технико-экономическим расчетом.

При производительности 5 млн. тонн в год наружный диаметр нефтепровода составляет 530 мм, при этом рабочее давление лежит в пределах 5,3...6,1 МПа.

При проектировании магистральных нефтепроводов или отдельных объектов на магистральных нефтепроводах, в том числе и головных перекачивающих станций, должно предусматриваться их оснащение

средствами автоматики, телемеханики и создание автоматизированных систем управления нефтепроводами (АСУ ТП).

Схема расположения оборудования на станции приведена на рисунке 1.

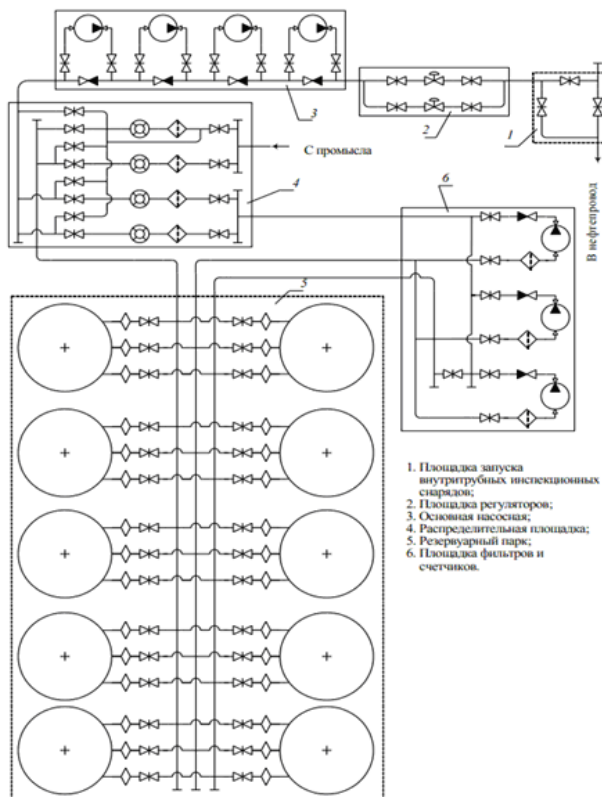


Рис. 1 - Схема расположения оборудования

Литература:

1. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учебник для вузов. -2-е изд., перераб. и доп. / Р.А. Алиев, В.Д. Белоусов, А.Г. Немудров, В.А. Юфин, Г.И. Яковлев. - М.: Недра, 1988. - 368 с.
2. РД 153-39.4-113-01 Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов
3. Коннова Г.В. Оборудование транспорта и хранение нефти и газа: учебное пособие для вузов. - Ростов н/Д: Феникс, 2006. - 128 с. - (Высшее образование)

ОПЫТНАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМ БУКСОВАНИЯ ШАХТНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Е.А. Колтунова, С.Н. Кладиев

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, eak32@tpu.ru**

В статье рассматривается экспериментальный стенд для исследования управления режимами тяговых электроприводов механической системы шахтного электровоза. В результате эксперимента проверены разработанные алгоритмы для предотвращения буксования в режимах разгона-торможения и равномерного движения.

The report presents an experimental stand for studying the control of traction electric drives in the mechanical system of a mine electric locomotive. The developed algorithms were tested to prevent slipping in the modes of acceleration-deceleration and uniform motion in the experiment

Оптимальный процесс разгона-торможения шахтного электровоза напрямую зависит от специально разработанных алгоритмов управления для тягового электропривода с частотным регулированием. В основе процессов лежит формирование момента на валу тяговых двигателей момент в зависимости от степени сцепления ведущих колесных пар с поверхностью рельсов [1-2]. Ранее в работах [3-4] была разработана математическая модель подвижного состава с распределенной механической системой, в системе которой есть автоматическое управление с учетом факторов как: уровни уклона (подъёма), состояние рельсового пути и трение качения, а также объём перемещаемых грузов. В системе моделирования MATLAB было выявлены особенности движения и остановок не только по результатам формирования скорости и усилий, но и позиции плунжеров, тяговые усилия на сцепках электровоза и участвующих в перемещении грузов все вагонетки.

Для проверки результатов моделирования разработанной системы управления был создан специальный стенд, как уменьшенная модель электровоза и состава на рельсах. Схема представлена на рисунке 1.

Данный стенд обладает возможностью прямого измерения скорости и его скольжения за счет ненагруженного колеса. Заложена ступенчатая регулировка веса электровоза, тележки и силы сопротивления, а также необходимый регулируемый уклон рельсового пути для моделирования сложных условий. Благодаря цифровому регулированию скорости и момента тягового двигателя возможно построение различных алгоритмов. Сама модель локомотива основана на одном тяговом сервоусилителе USD от ООО «Мехатроника-Софт» (г. Томск), который оснащен

программным обеспечением Drivelink, благодаря которому возможно гибкое конфигурирование алгоритмов работы (разработано по заказу компании Potomac Electric).

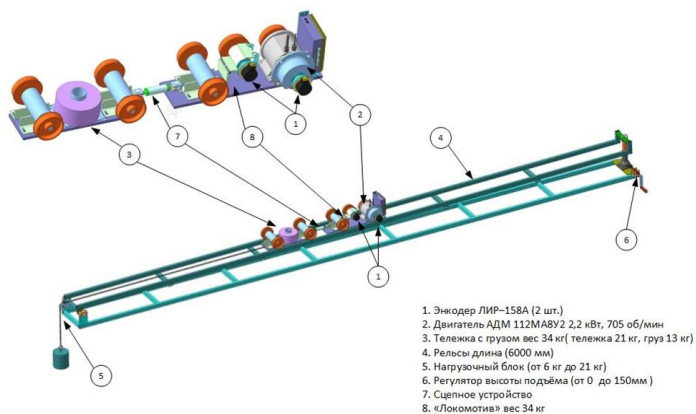


Рис. 1 – Схема экспериментального стенда



Рис. 2 – Фотография стенда

Пока было проведено только несколько экспериментов, в которых частично проверены результаты имитационного моделирования. Например, подтверждено, что существует такое определенное значение скорости скольжения колес, которому соответствует режим максималь-

ного тягового усилия относительно рельс. Эксперимент осуществлялся с наклоном рельсового пути до 15%.

При разгоне и увеличении скорости скольжения также растет линейная скорость самого состава, и, следовательно, тяговое усилие возрастает до оптимального значения. Достигая чрезмерного значения скорости скольжения, тяговое усилие снижается и происходит проскальзывание колес относительно пути.



Рис. 3 – Разгонный режим с ограничением момента

Полученные экспериментальные данные подтверждают возможность использования стенда для проверки различных алгоритмов управления тяговым электроприводом шахтного электровоза. Конструкторские технологические решения стенда могут быть применены другими научными лабораториями и коллективами для улучшения качества разработанных моделей подвижных составов.

Литература:

1. Кутовой Ю.Н. Повышение тяговых свойств рудничного электровоза средствами электропривода: дис. ... канд. техн. наук. Харьковский политехнический институт, Харьков, 1984. – 185 с.
2. Ренгевич А.А. Исследование эксплуатационных режимов рудничной электровозной откатки: Автореф. дис. канд. техн. наук. Днепропетровск, 1961. – 18 с.
3. S. Kladiev, B. Pyakillya, A. Vilnin. Mathematical model of traction electric drive for mine electric train. MATEC Web of Conferences: The 2nd

International Youth Forum "Smart Grids", Tomsk – France: EDP Sciences, 2014. Vol. 19, p. 3

4. Колтунова Е.А., Борисов С.В. Исследования тягового частотно-регулируемого электропривода подземного локомотива. // Электропривод на транспорте и в промышленности: тр. II Всерос.науч.-практ. конф. (Хабаровск, 20–21 сентября 2018 г.) / под ред. С.В. Власьевского. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2018. – 423 с

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОБУСОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ В СИСТЕМУ ПИТАНИЯ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

А.Э. Лаврова

**Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва, lavrova.97@inbox.ru**

В эксплуатации электробусов требуется надежная и бесперебойная зарядная инфраструктура. Работа посвящена модернизации тяговой подстанции троллейбуса с применением инновационного оборудования для обеспечения заряда, поскольку именно троллейбусы заменяются электробусами.

The operation of electric buses requires a reliable and uninterrupted charging infrastructure. The research is devoted to the modernization of the traction substation of the trolley bus with the use of innovative equipment to provide a charge, since it is the trolley buses that are replaced by electric buses.

Электробус обладает рядом несомненных преимуществ по сравнению с автобусом, оборудованным двигателем внутреннего сгорания, работающим на бензине, дизельном топливе или газе. Он практически бесшумен, прост в управлении, надежен и долговечен. Его эксплуатация обходится гораздо дешевле, чем эксплуатация обычного автобуса с ДВС.

Электробус объединяет экологичность троллейбуса, автономность и маневренность автобуса. Он представляет собой пассажирский автотранспорт новой генерации. От электромобиля его отличают такие характеристики, как пассажироместность, мощность электропривода и емкость аккумулятора.

Активное применение электробусов в современной городской инфраструктуре г. Москвы привело к увеличению числа зарядных станций. Для компенсации ограничений запаса хода электрических транспортных средств необходимо иметь доступную и надежную зарядную инфраструктуру – плотную сеть зарядных станций с возможностью

замены батарей. Этому будет способствовать сеть тяговых подстанций (Далее ТП), созданных для организации троллейбусного и трамвайного движения.

Учитывая значительные зарядные токи электробусов, необходимо реализовать достаточную мощность зарядной сети, чтобы обеспечить функционал ультрабыстрого заряда электробусов по пути их следования. Использование существующих мощностей тяговых подстанций может быть особенно актуально ввиду закрытия маршрутов троллейбусов и высвобождения мощностей.

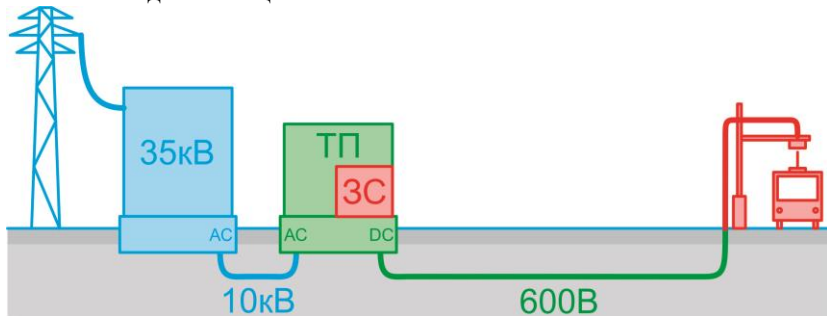


Рис. 1 - Схема питания зарядных станций в зданиях ТП

При организации системы электроснабжения зарядных станций посредством тяговых подстанций мы получаем большое количество положительных аспектов, таких как:

- использование существующих мощностей и оборудования тяговых подстанций, позволяющих снизить эксплуатационные затраты, высокую скорость внедрения новых зарядных станций;
- каждая ТП может иметь от 5 до 12 точек заряда;
- возможность вернуть систему к исходному виду для восстановления трамвайного и троллейбусного сообщения.

Литература:

1. О.Н. Иванов, Н.О. Листов, А.В. Остроух, Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземного пассажирского транспорта // Международный журнал перспективных исследований –2017. – №4-2. –Т.7. –С. 29-48.
2. Загайнов Н. Л., Финкельштейн Б. С. Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Транспорт», 1978, 336 с.

ПРОБЛЕМАТИКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ

А.Э. Лаврова

Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва, lavrova.97@inbox.ru

На сегодняшний день эксплуатация электробусов осуществляется за счет зарядки от токопроводящих линий, а также с использованием специальных зарядных станций, которыми оборудуются автобусные остановки.

Today, the operation of electric buses is carried out by charging from conductive lines, as well as using special charging stations that equip bus stops.

В настоящее время вследствие растущей концентрации населения в городах и высокого уровня загрязнения окружающей среды вредными выбросами, необходимо использовать перспективный общественный транспорт для снижения экологического воздействия – электробус.

Электробус обладает рядом несомненных преимуществ по сравнению с автобусом, оборудованным двигателем внутреннего сгорания, работающим на бензине, дизельном топливе или газе. Он обеспечивает комфортное перемещение с минимальным уровнем шума, а также при массовом применении снижает уровень загрязненности воздуха в городе.

На сегодняшний день идет активное применение электробусов. Одним из важнейших направлений в их развитии является увеличение запаса хода без дозарядки на стационарной заправочной станции.

Основная проблема внедрения электробусов – отсутствие надежной зарядной инфраструктуры. Зарядная инфраструктура для электротранспорта занимает гораздо меньше места, чем топливозаправочные системы, а также обеспечивает более высокий уровень безопасности и практически не оказывает влияния на окружающую среду. Немало важно, что при создании инфраструктуры должны закладываться решения с техническими параметрами, позволяющими заряжать как существующий, так и перспективный электротранспорт.

Зарядная структура должна обеспечивать требуемые параметры по мощности и зарядному напряжению, необходимому электротранспорту, иметь возможность увеличения мощности оборудования и числа параллельно заряжаемых транспортных средств. Кроме того система должна быть безопасной и иметь надежную систему мониторинга.

Литература:

1. О.Н. Иванов, Н.О. Листов, А.В. Остроух, Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземно-

го пассажирского транспорта // Международный журнал перспективных исследований –2017. – №4-2. –Т.7. –С. 29-48.

2. Н. Л. Загайнов, Б. С.Финкельштейн Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Транспорт», 1978, 336 с.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ СИЛОВОГО ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

К.С. Линник, Л.А. Нейман

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, linnik17@gmail.com**

Силовые понижающие трансформаторы являются одним из элементов системы электроснабжения, оказывающего влияние на электромагнитную совместимость с питающей сетью. Приведена имитационная модель однофазного понижающего трансформатора, основанная на применении дифференциальных уравнений электромагнитных процессов в трансформаторе. Для максимального приближения протекающих электромагнитных процессов в математической модели к процессам, протекающим в понижающем трансформаторе, имитационная модель дополнена магнитными характеристиками материала магнитопровода и блоком моделирования случайных помех и всплесков в системе питающего напряжения. Приведены результаты моделирования зависимости изменения выходного напряжения вторичной обмотки трансформатора, магнитного потока в стержне магнитопровода и анализ гармонического состава напряжения вторичной обмотки.

Power step-down transformers are one of the elements of the power supply system that affects the electromagnetic compatibility with the supply network. A simulation model of a single-phase step-down transformer based on the use of differential equations of electromagnetic processes in a transformer is presented. For the maximum approximation of the ongoing electromagnetic processes in the mathematical model to the processes occurring in the step-down transformer, the simulation model is supplemented with the magnetic characteristics of the magnetic circuit material and a block for modeling random interference and surges in the supply voltage system. The results of modeling the dependence of the change in the output voltage of the secondary winding of the transformer, the magnetic flux in the core of the magnetic circuit and the analysis harmonic composition of the voltage of the secondary winding are presented.

В настоящее время к источникам питания предъявляются строгие требования к обеспечению электромагнитной совместимости их с сетью и нагрузкой, заключающейся в обеспечении соответствия показателей

качества потребляемой, а также получаемой на выходе электрической энергии (ГОСТ-32144-2013).

Одним из элементов, входящих в состав источников питания, является трансформатор. Трансформатор представляет собой статическое электромагнитное устройство с двумя или несколькими обмотками, работа которых основана на явлении электромагнитной индукции для преобразования напряжения и тока одной системы в напряжения и токи другой системы [1, 2]. Характер протекания электромагнитных процессов в трансформаторе определяет электромагнитную совместимость с сетью и нагрузкой [3].

Целью работы является разработка имитационной модели силового понижающего однофазного трансформатора, учитывающего насыщение магнитопровода для исследования электромагнитных процессов и анализа гармонического состава в кривой выходного напряжения.

Вопросы исследования электромагнитных процессов связаны с разработкой динамических моделей устройств электротехники в виде системы дифференциальных уравнений, в которых изменения токов, напряжений и магнитных потоков всегда является функцией, зависящей от времени [4–6].

На основании полученной системы дифференциальных уравнений электрической и магнитной системы в программном пакете Matlab Simulink [7, 8] создана имитационная модель силового однофазного понижающего трансформатора, описывающая характер протекания электромагнитных процессов (рис. 1).

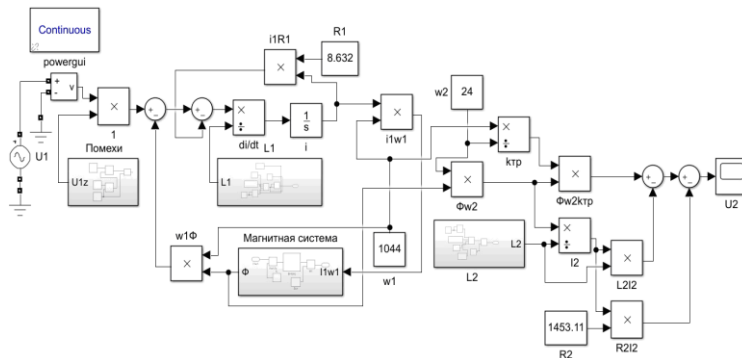


Рис. 1 - Имитационная модель трансформатора

При моделировании использованы паспортные данные завода изготовителя технических параметров однофазного трансформатора ОМП

10/10/0,23; число витков $w_1 = 1044$, $w_2 = 24$. Трансформатор получает питание от источника синусоидального напряжения.

Для максимального приближения описания электромагнитных процессов в математической модели к процессам, протекающим в силовом однофазном понижающем трансформаторе, имитационная модель дополнена магнитными характеристиками материала магнитопровода трансформатора блоком «Магнитный поток». Блок «Магнитный поток» содержит характеристики листовой электротехнической стали марки 3413.

Для моделирования случайных помех и всплесков в системе питающего напряжения в имитационной модели введен блок «Помехи», основан на методе Монте-Карло. Величины по методу Монте Карло имеют нормальное распределение и с довольно высокой точностью отражают реальные процессы, происходящие в питающей сети. На рис. 2 представлены результаты моделирования.

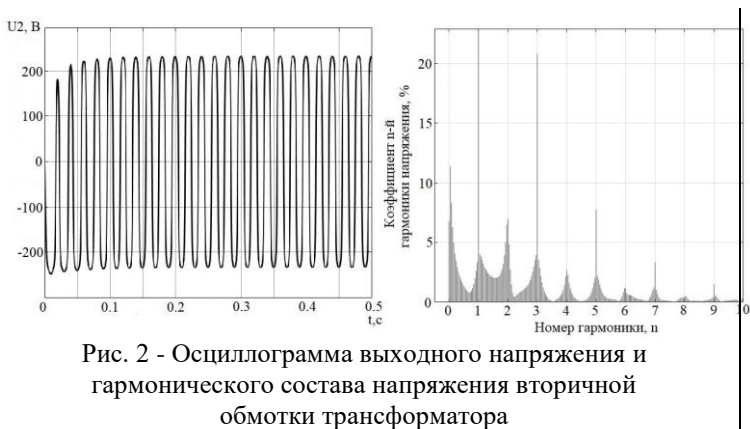


Рис. 2 - Осциллограмма выходного напряжения и гармонического состава напряжения вторичной обмотки трансформатора

Качественный анализ представленных на рис. 2 результатов моделирования позволяет сделать вывод, что напряжение вторичной обмотки имеет несинусоидальный характер. Кривая напряжения вторичной обмотки помимо основной гармоники содержит гармонические составляющие более высокого порядка. Коэффициенты гармонических составляющих второй, третьей и пятой гармоники превышают допустимые пределы, что позволяет сделать вывод об ухудшении качества выходного напряжения.

В результате верификации модели было выявлено соответствие теоретических (полученных моделированием) и экспериментальных данных.

Разработанная имитационная модель силового однофазного понижающего трансформатора может являться основой для моделирования и исследования электромагнитных процессов в трехфазных трансформаторах, а также для дальнейшей оценки электромагнитной совместимости трансформаторов с сетью и нагрузкой.

Литература:

1. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии / И.П.Копылов – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
2. Зевеке Г.В. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов // Учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 327 с:
4. Нейман Л.А. Моделирование динамических процессов в электромагнитных преобразователях энергии для систем генерирования силовых воздействий и низкочастотных вибраций / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2015. – Т. 326. – № 4. – С. 154–162.
5. Нейман Л.А. Моделирование процессов в электромагнитном вибрационном преобразователе с потерями энергии в магнитопроводе / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2016. – Т. 19. – № 1. – С. 73–78.
6. Нейман Л.А. Расчет динамики электромагнитного привода колебательного движения с однополупериодным выпрямителем / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Вестник МЭИ. – 2016. – № 6. – С. 64–71.
7. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
8. Герман-Галкин С.Г. Анализ и синтез мехатронной системы с магнитокоммутационной машиной в пакетах MATLAB-SIMULINK / С.Г. Герман-Галкин // Силовая электроника. – 2006. – № 7. – С. 82–86.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ФИКСИРУЮЩИМИ ДИОДАМИ

А.А. Морозов, Е.В. Катасонова, С.В. Кучак
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, aleks1morik@gmail.com

Предложена схема обеспечения устойчивого питания постоянным напряжением объекта, питаемого от аккумулятора. Представлены принципиальная схема последовательного резонансного преобразователя с фиксирующими диодами, принцип ее работы и преимущества перед LLC-преобразователем. Проведен расчет некоторых параметров, представлены временные диаграммы.

A scheme to ensure sustainable supply constant object voltage supplied from the battery. The schematic diagram of clamped series resonant converter, its principle of operation and advantages over the LLC-converter are presented. Some parameters are calculated. Their behavior is shown in timing diagrams.

В современном мире не осталось ни одной области техники, которая так или иначе не работала бы с электричеством. И не смотря на широкую распространенность переменного тока, многая техника работает на постоянном токе. И это касается не только мелкой бытовой техники: постоянный ток используется в железнодорожном транспорте, электро-мобилях, в медицине и различных других областях. В связи с этим возникла потребность в различных преобразователях для получения необходимых характеристик тока.

В данной работе была поставлена цель спроектировать схему для автономных объектов, у которых в качестве источника питания стоит аккумулятор, напряжение которого сильно меняется в зависимости от степени заряда, а на выходе требуется устойчивое постоянное напряжение. Также от схемы требовалось высокое значение КПД, относительная простота в эксплуатации и долговечность. Тогда было принято решение взять за основу резонансный преобразователь (Рисунок 1).

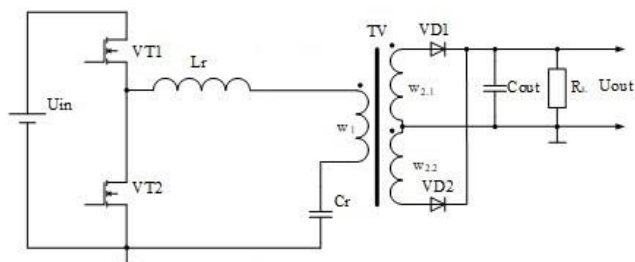


Рис.1 – Принципиальная схема LLC-преобразователя

Работа *LLC*-преобразователя основана на создании синусоидального тока, его выпрямлении и запаса в большом конденсаторе для дальнейшего обеспечения объекта устойчивым постоянным напряжением.

Далее схема была несколько изменена. В нее были включены два новых диода в первичной стороне. В результате был получен резонансный преобразователь с фиксирующими диодами *CSRC* (Рисунок 2).

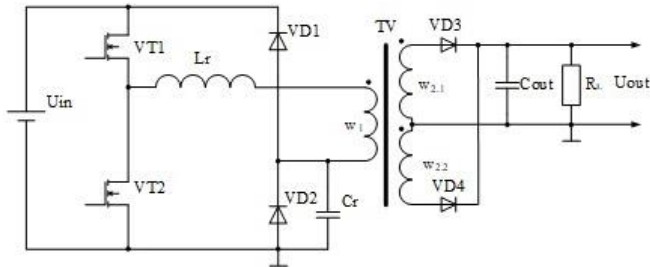


Рис.2 – Принципиальная схема *CSRC*

Эта топология преобразователя имеет преимущество перед традиционным *SRC* в том, что за счет схемы фиксации, которая ограничивает выходное напряжение с помощью диодов, конденсаторов и резисторов, энергия не возвращается к источнику. Поэтому пиковый ток, потребляемый от источника, ограничивается, и на практике предотвращается рассеяние мощности в импедансах источника.

Данное решение позволило избежать роста напряжения на емкости C_r после закрытия транзистора VT_1 и после разрядки емкости до 0, что в свою очередь должно уменьшить пульсацию напряжения на трансформаторе и увеличить производительность системы. Принцип работы схемы отражен на временных диаграммах (Рисунок 3). Рассмотрим работу схемы более подробно.

В цепь резонансного контура включен трехобмоточный трансформатор *TV* с одной первичной w_1 и двумя вторичными обмотками $w_{2.1}$ и $w_{2.2}$. Поскольку напряжение на первичной стороне однополярное, трансформатор должен передавать половину от амплитуды этого напряжения.

Процесс заряда ёмкости начинается в момент коммутации транзистора VT_1 и завершается в момент достижения напряжения на ёмкости величины, равной напряжению на источнике питания U_{in} . Как известно, ток в резонансной *LC*-цепи имеет синусоидальную форму:

$$i_{LC}(t) = I_{in(max)} \cdot \sin(\omega_r \cdot t)$$

где $I_{in(max)}$ – амплитуда тока в резонансной цепи:

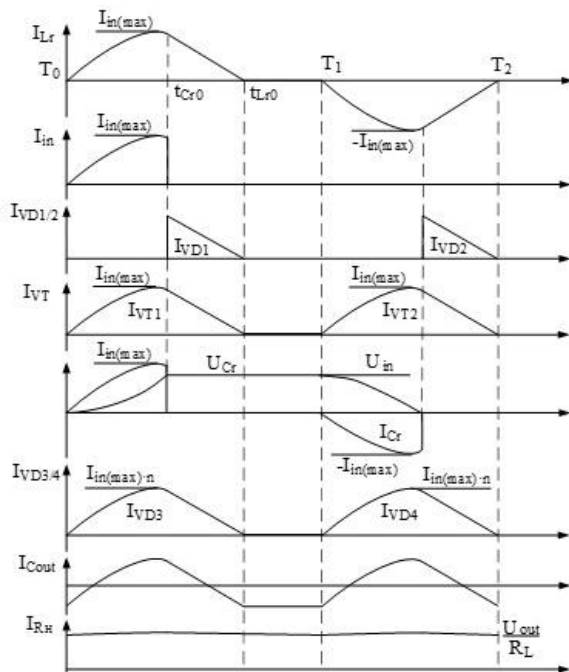


Рис.3 – Временные диаграммы CSRC

$$I_{in(max)} = \frac{U_{in} - n \cdot U_{w2}}{Z_r + r_{VT}}$$

Напряжение на ёмкости интегрально зависит от тока на входе, поэтому временная зависимость для него будет иметь следующий вид:

$$u_{Cr}(t) = \frac{U_{in} - n \cdot U_{w2}}{1 + \frac{r_{VT}}{Z_r}} \cdot (1 - \cos(\omega_r \cdot t))$$

Время достижения напряжения на ёмкости величины напряжения источника питания:

$$t_{Cr0} = \frac{\arccos\left(1 - \frac{U_{in} \cdot \left(1 + \frac{r_{VT}}{Z_r}\right)}{U_{in} - n \cdot U_{w2}}\right)}{\omega_r}$$

В момент времени t_{Cr0} величина тока будет равна:

$$I_{LC}(t_{Cr0}) = I_{in(max)} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{U_{in} \cdot \left(1 + \frac{r_{VT}}{Z_r}\right)}{U_{in} - n \cdot U_{W2}}\right)^2}$$

где r_{VT} – внутреннее сопротивление открытого транзистора.

По окончании заряда ёмкости, под действием энергии, накопленной в индуктивности, открывается диод VD_1 , и формируется ток, протекающий по контуру $L_r - w_1 - VD_1 - VT_1 - L_r$.

Полная длительность импульса тока:

$$t_{Lr0} = \arccos\left(1 - \frac{U_{in} \cdot \left(1 + \frac{r_{VT}}{Z_r}\right)}{U_{in} - n \cdot U_{W2}}\right) \frac{L_r}{\omega_r} + I_{in(max)} \cdot \sin(\omega_r \cdot t_{Cr0}) \cdot \frac{L_r}{n \cdot U_{W2}}$$

При коммутации транзистора VT_2 происходит аналогичный процесс, но противоположный по полярности тока индуктивности и ёмкости: разряд конденсатора C_r до нулевого напряжения, накопление энергии в индуктивности L_r , открытие диода VD_2 , разряд индуктивности по контуру $L_r - VT_2 - VD_2 - w_1 - L_r$.

На вторичной стороне трансформатора установлен двухполупериодный выпрямитель на основе диодов VD_3, VD_4 , на выходе которого установлена фильтровая ёмкость C_{out} . Принцип работы выпрямителя заключается в открывании диодов при прохождении соответствующей полуволны тока: VD_3 – положительной, VD_4 – отрицательной. Ёмкостной фильтр, замыкая через себя переменную составляющую тока, формирует на сопротивлении нагрузки R_n постоянный ток.

Литература:

1. Scott D., LLC Power Conversion Explained, Part 1: Introduction [Electronic resource] // Planet Analog. – 2017, august 12. – URL: <https://www.planetanalog.com/llc-power-conversion-explained-part-1-introduction/>
2. Разработка полумостового резонансного преобразователя на основе IRS2795 [Электронный ресурс] / Издательский дом Электроника. –

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ

К.О. Никонов, А.А. Абрамов, С.В. Петровский
Самарский государственный технический университет,
г. Самара, petrovski@rambler.ru

В статье исследуется бортовой комплекс диагностики, позволяющий оценить электромагнитную совместимость системы зажигания автомобиля с другим электрооборудованием, при помощи интеллектуальных датчиков.

The article research the onboard diagnostic complex, which allows to evaluate the electromagnetic compatibility of the vehicle's ignition system with other electrical equipment using intelligent sensors.

Введение

Исследования по электромагнитной совместимости (ЭМС) чрезвычайно важны во всех производственных и бытовых сферах, так как при отсутствии ЭМС происходит либо отказ оборудования, либо его неправильная работа. Для электротехнического оборудования проблема ЭМС особенно актуальна. В качестве примера приведем исследования по ЭМС системы зажигания автомобиля при помощи бортового комплекса диагностики.

Указанные в статье концептуальные основы экспериментального моделирования дают возможность решать задачу разработки бортовых комплексов диагностики для оценки ЭМС электрооборудования автомобиля с возможностью автоматического обнаружения и идентификации превышения уровня электромагнитных помех (ЭМП) без необходимости прибегать к более строгому математическому моделированию электромагнитных помех, которое трудно осуществить на практике.

Основная часть

Основная задача интеллектуальной информационной системы (ИИС) – это обеспечить диалог с водителем автомобиля в удобной для него форме. Для выполнения этой задачи могут применяться интерфейсы контекстной помощи, языковой интерфейс с голосовым вводом команд в систему управления электронного блока управления (ЭБУ) автомобиля, которые подсказывают водителю схемы поиска требуемой инфор-

мации, и различные виды её графического представления. Работа этих интерфейсов позволяет в наглядном и выразительном виде просмотреть и оценить множество параметров, которые характеризуют изучаемый процесс [1, 2, 3, 4].

Базовым отличием ИИС от традиционных систем обработки данных является способ представления данных в виде символов, а не чисел, что сокращает объем данных и позволяет использовать процедуры алгоритма эвристического поиска решений.

В рамках вышеуказанного метода концептуальных основ экспериментального моделирования проводится интеллектуализация датчиков, то есть когда датчики не только вырабатывают сигнал, но и осуществляют его первичную обработку. Такой подход в обработке диагностических данных позволяет применять не только прямые, но и косвенные измерения признаков, характеризующих ЭМС системы зажигания с электрооборудованием, находящимся как внутри, так и снаружи автомобиля.

При косвенных измерениях интересующая нас величина предельного уровня ЭМП, обозначаемого величиной X , определяется на основании зависимости между данной величиной и факторами, значения которых находят по прямым измерениям. По этой причине значение искомой величины, качественной либо количественной, находится опосредованно как $X = F(\overline{M})$, где F – некая функциональная зависимость, $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$ и $M_i, i \in \overline{1, n}$ – значения величин, полученных прямыми измерениями.

Интеллектуальные датчики (ИД) на основе метода опорных векторов (МОВ), метода искусственной нейронной сети (ИНС), алгоритма ближайших соседей, сетей Баерса и прочих методов, дают возможность определить зависимость F экспериментально и динамически её настраивать при изменении условий окружающей среды и режимов работы при смене динамических характеристик изучаемой системы (например, системы зажигания автомобиля), рассмотренные в [4, 5, 8].

Объединив возможности функциональной диагностики уже рассмотренных ИД [5, 6], мы суммируем их с адаптивными и самообучающимися свойствами интеллектуальных информационных систем (ИИС). Затем ходе проведённой научно-исследовательской работы предложен и реализован прототип интеллектуального диагностического комплекса для оценки ЭМС автомобильного электрооборудования с системой зажигания ДВС, функциональная схема которого показана на рисунке 1.

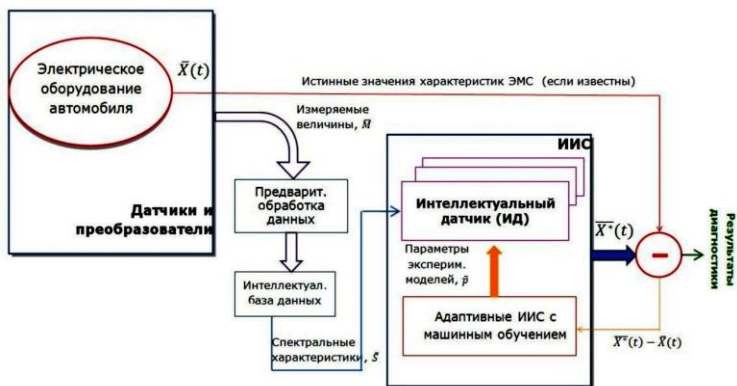


Рис. 1- Структурная схема интеллектуального диагностического комплекса

Важно отметить, что работа системы зажигания автомобиля создает высокий уровень ЭМП, который часто превышает допустимый. По этой причине мы выбираем ИД, эмпирические модели которых наиболее точны, то есть имеют наименьшую погрешность. В ходе решения этой задачи мы применяем метод группового учёта аргументов (МГУА), реализующий принципы интеллектуализации баз данных и самообучения компонентов ИДК.

Вышеуказанный метод (МГУА) имеет применения в множестве областей и представлен, в основном, регрессионными статистическими моделями. При этом предлагаемый ИДК расширяет область применения метода и открывает новый класс эмпирических моделей, представленных в виде интеллектуальных датчиков.

Возвращаясь к рисунку 1, важно отметить, что ядром ИДК является совокупность ИД, выбор и настройка которых осуществляется на основе адаптации к поступающим диагностическим данным и машинного обучения.

Важно отметить, что качество работы ИД определяется не только используемым алгоритмом интеллектуального анализа данных \bar{L} [7, 8], но и правильностью выбора вторичных переменных \bar{S} , а также алгоритмических параметров \bar{P} , что в сумме позволяет достичь погрешности работы интеллектуальных датчиков в составе ИДК на уровне 6 %.

Выводы.

1. Преимуществом интеллектуального диагностического комплекса от существующих средств обработки диагностических данных является его способность к адаптации и настройке внутренних параметров

(что в сумме позволяет достичь погрешности работы интеллектуальных датчиков при определении уровня ЭМП в составе бортового комплекса диагностики на уровне 6 %).

2. Указанные функциональные и программные возможности интеллектуального диагностического комплекса, реализованного на ИД, позволяют комплексно диагностировать превышение уровня ЭМП, после этого коды диагностических ошибок выводятся через монитор маршрутного компьютера, на основании которых водитель принимает решение о необходимости остановки и ремонта автомобиля.

Литература:

1. Барнс Дж. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами. / Дж. Барнс. - М.: Мир, 1990. – 238 с.
2. Кечиев Л.Н. ЭМС: стандартизация и функциональная безопасность. / Л.Н.Кечиев, П.В. Степанов. – М.: МИЭМ, 2001 – 82 с.
3. Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. / А.Д. Князев– М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.
4. Николаев П.А. Электромагнитная совместимость современных автомобильных систем зажигания: монография [Текст]/ П.А. Николаев. - Тольятти.: ПВГУС, 2011. – 224 с.
5. Петровский С.В. Бортовой комплекс диагностики электромагнитной совместимости системы зажигания автомобиля: дисс. канд. тех. наук. / С.В. Петровский. – Самара: СамГТУ, 2016. – 185 с.
6. Dhar V., Stein R. Intelligent Decision Support Methods: The Science of Knowledge Work. Prentice Hall, 1997.
7. Petrovski S., Malakhov A., Kopyriulin P., Petrovski A. Adaptation of Smart Grid Technologies: The use of Computational Intelligence for reliability estimation and maintenance scheduling./ In the proceedings of the World Congress on Computational Intelligence, WCCI 2012, Brisbane, Australia. FUZZIEEE, Cat.: CPF12FUZ-USB, ISBN 978-1-4673-1505-0.DOI: 10.1109/FUZZ-IEEE.2012.6251193 pp. 934-39.
8. Quinlan J. R. C4.5: Programs for Machine Learning. — San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993. — 302 p. — ISBN 1-5586-0238-0.

ТРАМВАЙ КАК СОВРЕМЕННОЕ РЕШЕНИЕ «ПРОБОК»

Б.В. Рожков, В.В.Бирюков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, bogdanbogdan480@gmail.com**

В данном докладе сообщается о решении мировых проблемах связанных с транспортной системой, а именно с образованием такого явления как “пробки”. В качестве актуального решения описаны плюсы и перспективы электрического транспорта, а именно трамвая. За основу взят современный трамвай модели 71-633 производства Усть-Катавского вагоностроительного завода.

This report reports on the solution of the world's problems associated with the transport system, namely with the formation of such a phenomenon as "traffic jams". As an urgent solution, the advantages and prospects of electric transport, namely the tram, are described. It is based on a modern tram model 71-633 manufactured by the Ust-Katavskiy Carriage Works.

На данный момент все мировое сообщество сталкивается с такими проблемами транспортной системы как “пробки”. Многие страны пытаются выйти из данной ситуации по средствам внедрения новых технологий, наподобие водного такси, или полного отказа от транспорта с переходом на велосипед. Актуальным решением по мере изучения и экологической составляющей является трамвай. Помимо плюсов, касающихся использованию топлива, трамвай имеет ряд преимуществ по сравнению с транспортными средствами имеющие ДВС, а также он экологичнее троллейбуса. Важно то, что сроки эксплуатации в 50 лет не являются проблемой для трамвая, при том что срок службы автобуса 20-30 лет. Себестоимость для перевозки пассажира в трамвае на 40% ниже, чем в автобусе. Первым и немало важным аспектом является то, что трамвай имеет постоянные габариты во время движения. Так как его путь фиксирован рельсами, ему не нужны буферные зоны, и он вполне подойдет даже для самых узких улиц. Эффективность в фиксированном маршруте без возможности отклонения повышается в несколько раз благодаря зацеплению нескольких вагонов без дополнительных затрат на их управление. Таким образом большие многосекционные трамваи не уступают по вместимости метрополитену. Данный общественный транспорт не имеет горючего и безопаснее автомобиля в несколько раз. С экономической точки зрения постройка трамвайной сети намного эффективнее и дешевле чем постройка метрополитена. Трамвайная сеть имеет возможность доступной модернизации или быстрым демонтажем в случаи непригодности. Уделить внимание также нужно и возможной вместимости. Один трамвай способен уместить в себе 100-200 человек, а это уже заменяет 10 маршруток.

В своей расчетно-графической работе вместимость подвижного состава была равной 200 пассажирам. Обеспечить заданную перевозочную способность может трамвай особо большой вместимости. В качестве прототипа для проектирования использован трёхсекционный шарнирно-сочленённый шестиосный трамвай модели 71-633 производства Усть-Катавского вагоностроительного завода имени С.М. Кирова. Проект трамвайного вагона 71-633 был представлен в мае 2014 года на выставке «ЭлектроТранс». В июне 2019 года он принимал участие в выставке «Smart Transport 2019», которая проходила в выставочном зале «Экспофорум». 25 июня 2019 года прибыл в трамвайный парк № 7 Санкт-Петербурга, сейчас находится в опытной эксплуатации.

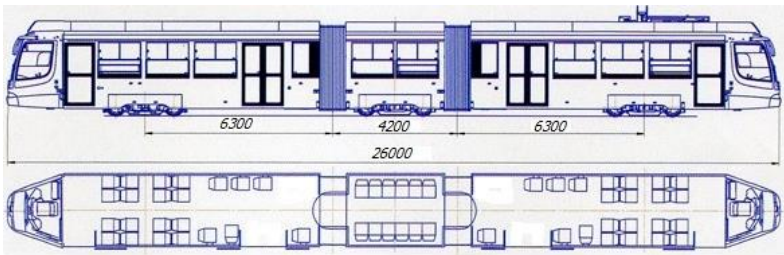


Рис. 1 - Габаритные размеры и планировка салона вагона 71-633

В отличие от современных у данной модели имеется низкий пол по всей площади вагона. Большие двери обеспечивают ускоренную посадку и высадку пассажиров, а также и людей с ограниченными возможностями. Современная система диагностики, может вести запись всех параметров вагона. Благодаря этому для проверки и изменения каких-либо параметров не требуется специальное оборудование. Система управления позволяет управлять не только тяговым приводом, но и всеми устройствами на борту. В ходе выполнения расчетно-графической работы был рассчитан трёхсекционный шарнирно-сочленённый шестиосный трамвай вместимостью до 200 пассажиров и обеспечивающей пассажиропоток 12000 пассажиров с интервалом движения в 60 секунд. Согласно техническим данным были определены: основные размеры, весовые параметры и планировка салона. Произведён поверочный расчёт заднего свеса вагона, разница расчётной величины и прототипа составила 2,39%. Представленная колебательная модель ПС позволяет определить количество ступеней подвешивания каждого элемента ПС, подрессоренные и неподресоренные части. Спроектированные ХЧ соответствуют требованиям безопасности движения, плавности хода, простоту эксплуатации и ремонтпригодность. Расчёт механических

тормозов показал, что величина повышения температуры тормозного устройства за один цикл торможения, не превышает допустимых 15⁰С.

Литература:

1. Механическое оборудование подвижного состава. Ч. 1 методические указания к выполнению курсовых работ и дипломных проектов студентами электромеханического факультета специальности 180700 "Электрический транспорт" / Новосиб. гос. техн. ун-т; [сост.: В. В. Бирюков, Н. Л. Чагин]. - Новосибирск, 2003. - 45 с.

2. Технические данные трамвая модели 71-633 [Электронный ресурс]. URL: http://ukvz.ru/products/tramvajnye_vagony3/56.html (Дата обращения 11.09.2020)

3. Механическое оборудование подвижного состава. Ч. 2: методические указания к выполнению курсовых работ и дипломных проектов студентами ЭМФ специальности 180700 "Электрический транспорт" / Новосиб. гос. техн. ун-т; [сост.: В. В. Бирюков, Н. Л. Чагин]. - Новосибирск, 2003. - 47 с.

4. Трехсекционный трамвайный вагон, оборудованный современными медиа-комплексами [Электронный ресурс]. URL: <https://ukvz.ru/produksiya/seriynye-modeli/71-633/> (Дата обращения 11.10.2020).

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ, КАК МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОБИЛЬНОСТИ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА

А.В. Степанов, М.Ю. Никулин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, alexev7run@mail.ru

В статье представлены преимущества использования трамвая для перевозок пассажиров. Исследовано влияние автоматической системы управления дорожным движением (АСУДД) на время преодоления участка трамвайной линии по проспекту Дзержинского от остановочной платформы «Берёзовая роща» до пересечения проспекта Дзержинского с улицей Трикотажной в городе Новосибирске.

The article presents the advantages of using a tram for passenger transportation. The influence of an automatic traffic control system (ATCS) on the time of crossing a section of a tram line along the Dzerzhinsky line from the stop platform "Birch Grove" to the intersection of Dzerzhinsky Ave. with Trikotazhnaya St. in Novosibirsk was investigated.

В современных мегаполисах проблема мобильности горожан предъявляет серьезные требования к развитию транспортной инфраструктуры. Зачастую невозможно добраться до удаленных районов города на общественном транспорте. Объектом исследования является участок проектируемой трамвайной линии по маршруту «Метро «Березовая роща» - «Микрорайон «Олимпийской славы» в г. Новосибирске. Результат исследования показывает, насколько сокращается время на преодоление участка трамвайной линии с использованием АСУДД и без него. Практическая ценность результатов заключается в возможности использовать их в предпроектной документации создания новой трамвайной линии.

Трамвай способен обеспечить массовые и скоростные перевозки пассажиров по наиболее загруженным направлениям. Поэтому именно этот вид городского пассажирского транспорта способен решить транспортную проблему современных городов наиболее качественно.

Провозная способность трамвая может достигать 20-25 тысяч пас/час. Вместимость одного вагона варьируется от 150 до 350-700 пассажиров. Возможность сцепки вагонов позволяет увеличить это значение кратно. Вместимость трамвая можно сравнить с вместимостью 2-3 автобусов (троллейбусов) и до 100 легковых машин [1].

При обособленном движении от автомобильного потока трамвай имеет преимущества по скорости передвижения. Скорость сообщения трамвая – 21-30 км/ч, при определенных условиях это значение может достигать отметки 45 км/ч [2].

Трамвай экономичен. Затраты на эксплуатацию меньше, чем у троллейбусов, использование электроэнергии дешевле, чем топливо автобусов, а строительство рельсового полотна намного дешевле, чем строительство метро.

Существующее состояние сети трамвайных линий, уровень их оборудования во многом не соответствуют градостроительным требованиям и требованиям безопасности транспортного движения.

Основными проблемами являются:

- размещение трамвайных линий на значительной части городских улиц (во многих случаях по середине их проезжей части) с нарушением нормативных требований;
- отсутствие достаточного количества оборудованных остановочных пунктов, которые удовлетворяли бы условиям доступности и безопасности;
- отсутствие доступности пользования общественным транспортом для маломобильных граждан;

- размещение конечных и промежуточных колец трамвайных маршрутов на ценных в градостроительном отношении земельных участках.

В связи с этим, требуется поэтапная модернизация системы городского трамвая путем реконструкции трамвайных линий и строительству новых. Задачи, которые ставят перед собой разработчики современных технологий для транспорта соответствуют актуальным проблемам. Главная задача – сокращение времени корреспонденций [3].

В случаях, когда невозможно обеспечить полное обособление, а дорожная ситуация не позволяет удовлетворить желаемое время корреспонденций, на помощь может прийти АСУДД – система, которая состоит из множества компонентов как программных, так и аппаратных. В режиме реального времени происходит сбор и анализ информации о дорожном движении.

Основные задачи АСУДД:

- Прогнозирование и управление дорожной ситуацией;
- Передача информации оператору в контрольный пункт и одновременная загрузка этих данных на удаленные сервера или облачные хранилища;

Автоматическая система управления светофорами, также входящая в состав АСУДД, снижает продолжительность ожидания разрешающего сигнала и увеличивает пропускную способность участка дороги. По уже имеющимся алгоритмам, исходя из дорожной ситуации в данный момент, система сама изменяет условия работы светофора и тем самым улучшает трафик.

В центре управления дорожным движением находятся сотрудники, отвечающие за управление АСУДД и состояние его компонентов.

В качестве доказательства состоятельности данной системы было проведено исследование времени, затрачиваемого трамваем на движение по участку проектируемой трамвайной линии на участке проспекта Дзержинского от остановочной платформы «Берёзовая роща» до пересечения проспекта Дзержинского с улицей Трикотажной в г. Новосибирске. На участке имеется три пересечения с примыкающими улицами (ул. Красина, ул. Королёва, ул. Индустриальная).

Исходными данными являются:

1. Общая длина участка – 2 258 м;
2. Проектируемая скорость передвижения – $v = 30$ км/ч;
3. Количество остановочных платформ – 5 ед.;
4. Время остановки – ;

Пропускная способность первого перекрёстка и перегона определяется по формулам:

$$A_{\text{уд}} = N_{\text{перез.}} \frac{t_3 \cdot t_p}{t_u},$$

где $N_{\text{перез.}}$ – пропускная способность перегона; t_3 – время зеленого сигнала светофора; t_u – время цикла светофора; t_p – время разгона (12 с).

$$N_{\text{перезона}} = \kappa_n \cdot \frac{3600 \cdot V}{L_{\text{без}}},$$

где κ_n – коэффициент полноты (1); $L_{\text{без}}$ – дистанция безопасности (120 м).

$$N_{\text{перезона}} = 1 \cdot \frac{3600 \cdot 8,3}{120} = 250 \text{ трамваев / час.}$$

$$N_{\text{перекр.}} = 250 \cdot \frac{34 - 12}{100} = 55 \text{ трамваев / час.}$$

Время на движение по перегону без использования и с использованием АСУДД:

$$t_1 = \frac{S}{V} + t_{\text{ост}} = \frac{785}{4,17} + 2 \cdot 40 = 4,47 \text{ мин. (без АСУДД),}$$

$$t_1 = \frac{S}{V} + t_{\text{ост}} = \frac{785}{8,33} + 2 \cdot 40 = 2,9 \text{ мин. (с АСУДД).}$$

При использовании АСУДД предполагалось, что при приближении трамвая к пересечению проезжих частей, для него загорается зеленый сигнал светофора, тем самым пропускная способность перекрестков становится равной пропускной способности перегонов и уменьшается время на передвижение.

Результаты расчета других пересечений проезжих частей приведены в Таблице 1:

Таблица 1 – Результаты расчета пресечений проезжих частей

Перегон	Длина переезда, м	Пропускная способность переезда, тр/час	Пропускная способность перекрестка, тр/час	Кол-во остановок, ед	Время без использования АСУДД, мин	Время с использованием АСУДД, мин
«Березовая роща» – ул. Красина	785	250	-	2	4,47	2,9
ул. Красина – ул. Королева	544	250	55	1	2,84	1,75
Ул. Королева – ул. Индустриальная	355	250	132	-	1,9	0,72
ул. Индустриальная – ул. Трехкотажная	574	250	83	2	3,63	2,48

Общее время на движение по участку сократилось с 9,48 минут до 7,85 минут, что говорит об эффективности использования АСУДД. Однако на пересечении крупных магистральных дорог такую технологию использовать невозможно, и движение трамвая необходимо организовывать в соответствии с общим потоком.

Литература:

1. Никулин М.Ю. Теория пассажирских перевозок и транспортная логистика / Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2017.
2. Currie G., Reynolds J. Vehicle and pedestrian safety at light rail stops in mixed traffic // Transp. Res. Rec.: J. Transp. Res. – 2010. – N 2146. – P. 26-34.
3. Tanga T., Zhanga J., Liub K. A speed guidance model accounting for the driver's bounded rationality at a signalized intersection // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2017. – Vol. 473, P. 45-52.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ СТВОЛА ВЗС-1 РУДНИКА «СКАЛИСТЫЙ»

З.Е. Шевляков, М.В. Ярославцев
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zshevlakov@gmail.com

Работа посвящена разработке системы автоматизированного управления подъемной установки, предложено улучшение характеристик установки с помощью модернизации промышленного логического контроллера Simatic S7 и написанием для него программы управления.

The work is devoted to the development of an automated control system for a lifting installation. It is proposed to improve the characteristics of the installation by upgrading the industrial logic controller Simatic S7 and writing a control program for it.

В настоящее время в горнодобывающей промышленности подъемные установки имеют большое значение. Они обеспечивают безопасность передвижения людей, груза и взрывчатых веществ на горизонты шахт. Из-за их безотказной и правильной работы зависит работоспособность шахты, поэтому система автоматизированного управления играет важную роль. Решением этой проблемы может стать замена программируемого контроллера Simatic S7-300 на более современный, характеристики которого более совершенны.

Рассмотрим состав САУ подъемной установки. В её состав входят следующие устройства: шкаф защит и технологической автоматики (ШЗА) на базе программируемого контроллера Simatic S7, выполняющий функции технологического управления, встроенного контроля и защиты подъемной установки. Пульт машиниста шахтного подъема (ПШП), интегрированный с видеотерминальной станцией (ВТС), на базе станции распределенного ввода-вывода ET200M программируемого контроллера Simatic S7 и двух ПЭВМ, оснащенных видеомониторами. Автоматизированная система стволовой сигнализации и связи (АССС и С) на базе современного электронного комплекса средств фирмы FHF Bergbautechnik GmbH, специально предназначенного для построения систем шахтных коммуникаций. Импульсные и путевые датчики, используемые системой управления для определения положения и скорости клетки. Ограничитель скорости независимый (ОСН) на базе программируемого контроллера Simatic S7, реализующий важнейшие функции защиты подъемной установки. Кроме того, в систему управления входят блоки станций распределенного ввода-вывода ET200M программируемого контроллера Simatic S7, установленные в

распределительном шкафу щита вспомогательных механизмов (ЩВМ), а также в шкафу фильтрокомпенсирующего устройства (ФКУ). В состав оборудования подъемной машины входит электронная система управления тормозом ST3, а в состав комплектного электропривода входит шкаф регулирования электропривода (ШРЭ) на базе микропроцессорной системы регулирования Simadyn D.

В настоящем проекте используются три стандартных протокола локальных сетей: Profibus DP, Industrial Ethernet и MPI. Протокол Profibus DP, соответствующий европейскому стандарту EN 50170. В описываемой структуре управления используются четыре линии сети Profibus DP. Одна из них, называемая «канал А», используется для обмена информацией с АССС и С. В данной сети ШЗА является ведущим устройством (master), а подчиненными (slave) являются устройства АССС и С, расположенные на отметках 0,0 м, +7,2 м, на подземных горизонтах, а также в клетях. Передача данных по сети между шахтой и взрывобезопасными помещениями в копре осуществляется через искробезопасную гальваническую развязку. Для организации отводов от сети Profibus DP на горизонтах и отметках 0,0 м, +7,2 м, используются специальные ретрансляторы. Скорость передачи в данной сети Profibus DP составляет 93,75 кбод. Вторая линия сети Profibus DP, называемая «канал В», служит для обмена информацией между программируемым контроллером Simatic S7, расположенным в ШЗА, и системой регулирования Simadyn D в шкафу ШРЭ. Из ШЗА в ШРЭ передаются команды управления приводом и задание на частоту вращения и статический момент. Величина задания на частоту вращения вычисляется в ШЗА как наименьшее из двух значений: уставки, принятой от командоаппарата ручного задания скорости на ППП, и величины, полученной из диаграммы движения для данной точки пути. Из ШРЭ в ШЗА передается информация о состоянии привода, действительные значения частоты вращения, токов и напряжений. Обмен данными по этой сети осуществляется на стандартной скорости 500 кбод. Третья линия сети Profibus DP, называемая «канал С», используется для связи программируемого контроллера Simatic S7, расположенного в ШЗА, со станциями распределенного ввода-вывода ET200М, установленными в шкафах ЩВМ и ФКУ, а также в пульте машиниста ППП. К этой же сети подключена система управления тормозом (СУТ), одна из панелей оператора ОР77, а также командоаппарат ручного задания скорости КАР. Для данной сети Profibus DP также выбрана стандартная скорость обмена 500 кбод. Все станции распределенного ввода-вывода ET200М комплектуются интерфейсными модулями типа IM153-1. Процедура конфигурирования каж-

дой станции ET200M выполняется на ПЭВМ в интегрированной среде Simatic Manager.

Наконец, четвертая линия Profibus DP, называемая «канал E» служит для обмена данными между микропроцессорной системой регулирования Simadyn D, установленной в шкафу регулирования электропривода ШПЭ, и преобразователем SIMOREG, установленном в шкафу возбуждения. Данная линия является внутренней сетью комплектного электропривода и непосредственно с системой управления не связана. Интерфейс MPI, позволяющий создавать простейшие сетевые структуры, в настоящем проекте используется («канал D») для подключения к контроллеру S7-300 шкафа ОСН второй панели оператора OP77. Данная панель предназначена для ввода настроечных параметров и индикации данных о работе ОСН. Для связи системы программируемого контроллера управления с двумя ПЭВМ, образующими видеотерминальную станцию, а также для связи этих ПЭВМ с автоматизированной системой оперативного и диспетчерского управления (АСОДУ) используются сети с протоколом Industrial Ethernet.[1]

В данный момент достигнутый уровень исследования невелик, были рассмотрены более современные модели промышленных логических контроллеров Simatec S7. Модернизации подвергнется шкаф защит и технологической автоматики, так как он является главным звеном в САУ. Ещё изучается язык программирования SCL для написания программы управления САУ. Рабочее место оператора останется прежним, измениться только визуализация некоторых процессов.

Область применения данной САУ распространяется на другие подъемные установки, потому что принцип работы и управления ими практически одинаковый. В дальнейшем можно взяться за модернизацию других устройств, входящих в состав системы.

Литература:

1. ПЗ 12ЛА.657262.003.16.1. ВЗС1. Система управления и контроля, ствольная сигнализация и связь подъемной установки №1. – М.: Электропривод, 2007

ПОВЫШЕНИЕ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ОДНОКУЗОВНОГО ТРАМВАЯ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОЕЗДА ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

А.А.Широких, В.В.Бирюков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, alina.shirokih.777@yandex.ru**

В настоящее время одной из актуальных задач, решаемых при проектировании различных транспортных средств, является задача создания комфортных условий для для входа и выхода из салона инвалидов-колясочников. Понижение уровня пола салона на накопительной площадке не решает проблемы в целом, поскольку в этом случае ограничено перемещение пассажира по салону из-за наличия ступени (а то и двух) между площадкой и остальной частью пола салона. Кроме того, предоставление на площадке места для инвалида-колясочника затрудняет передвижения остальных пассажиров при входе и выходе. Одним из путей решения этой проблемы является изменение конструкции ходовых частей трамвая.

Currently, one of the most urgent tasks to be solved in the design of various vehicles is the task of creating comfortable conditions for entering and exiting the passenger compartment for wheelchair users. Lowering the floor level of the passenger compartment on the storage platform does not solve the problem in General, since in this case the passenger's movement around the cabin is limited due to the presence of a step (or even two) between the platform and the rest of the cabin floor. In addition, providing space for a wheelchair user on the site makes it difficult for other passengers to move in and out. One of the ways to solve this problem is to change the design of the running parts of the tram.

В городах Российской Федерации, использующих трамвай как транспортное средство для массовых перевозок пассажиров, в настоящее время эксплуатируется довольно большое количество различных вариантов исполнения одно- и многокузовного подвижного состава трамвая, у подавляющего большинства которых уровень пола располагается на расстоянии 700-800 мм от проезжей части. Применение рефужей на остановочных пунктах позволяет уравнивать платформу с первой ступенькой, но не решает кардинально проблемы посадки инвалида-колясочника без посторонней помощи, поскольку остаётся ещё две ступеньки до пола салона.

Решение проблемы посадки и высадки инвалида может быть достигнуто двумя путями:

– применением пандуса, что допустимо при наличии только одной ступени до пола салона (поскольку допустимый угол его наклона лимитирован);

– изменением конструкции ходовых частей, при которой приходится отказаться от традиционного использования в конструкции тележки колёсных пар.

Первый вариант довольно сложен в конструктивном исполнении, поскольку необходимо использовать не стационарный пандус, а наклоняющуюся площадку, которая после посадки должна приводиться в горизонтальное положение с целью выравнивания пола в салоне.

Второй вариант более привлекателен, поскольку известны конструкции тележек, как иностранных, так и отечественных производителей, обеспечивающих понижение уровня пола салона либо по всей длине, либо на большей её части. Конструкции таких тележек разработаны, в частности, фирмами «Bombardier», «Kawasaki», а также на Уральском вагоностроительном заводе [1].

Отличительной особенностью данных тележек является то, что они – неповоротные, а тяговый привод в них располагается между колёсами, образуя своего рода модули, в которых используется индивидуальный или групповой привод.

Преимущество индивидуального привода колёс одного борта заключается в обеспечении одинаковой линейной скорости, как при движении по прямой, так и при вписывании в кривые участки пути на поворотах, что обеспечивает движение колёс без проскальзывания независимо от их диаметров, вызванных износом либо технологическим разбросом при изготовлении. Однако такое решение приводит к увеличению затрат на изготовление тележки.

При групповом приводе (когда колёса одного борта приводятся во вращение одним двигателем) конструкция более простая и дешёвая. Кроме того, при потере сцепления с рельсом одним из колёс (например, при наезде на масляное пятно), оно будет вращаться с той же скоростью, с какой вращается второе колесо, не потерявшее сцепления, т.е. процесса буксования колеса не возникнет.

Тележка фирмы «Kawasaki» отличается тем, что в ней сохранена схема с колёсными парами. При этом одна ось оснащена тяговым приводом, а вторая – холостая (необмоторенная). Специфическая рама тележки позволила понизить уровень пола салона над ней практически до её половины.

Применение неповоротных конструкций тележек приводит к необходимости отказа от однокузовного исполнения трамвайного вагона.

Отличительной особенностью данных тележек является то, что они – неповоротные и тяговый привод в них располагается между колёсами, образуя своего рода модули. При этом в тележке отечественного произ-

водства в отличие от зарубежных применён индивидуальный привод колёс.

В результате проведённых расчётов была спроектирована конструкция двухкузовного двухтележного трамвайного вагона на базе неповоротных тележек, обеспечивающая вписывание в габарит подвижного состава не только на прямолинейных участках пути, но и в кривых с минимально допустимыми радиусами поворота. Внешний вид и планировка салона приведены на рис. 1.

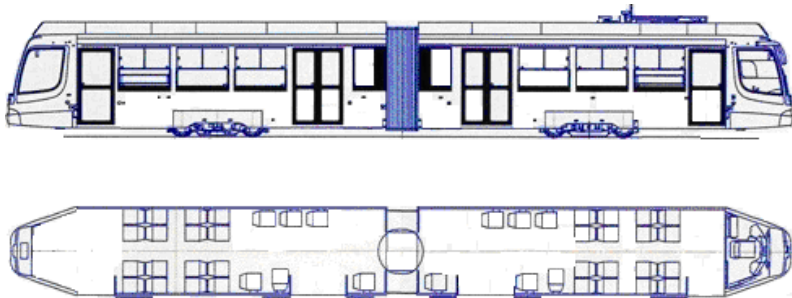


Рис. 1 – Конструкции двухкузовного трамвая с неповоротными тележками

Использование с целью понижения уровня пола салона тележки фирмы «Kawasaki» приводит к необходимости из-за смещения её к началу головной секции в конструкции трамвая применять трёхсекционный вариант исполнения кузова, при котором средняя секция является опорой для головной и хвостовой секций, т. е. опорное сочленение секций. При этом укороченная средняя секция оснащена неповоротной тележкой модульной конструкции в целях сохранения низкого уровня пола, как в головной, так и в хвостовой частях кузова (рис. 2).

Проектирование трамвая не заканчивается, поскольку помимо механической части он должен быть оснащён и электрооборудованием, тип которого существенно зависит от применяемых на нём тяговых электрических двигателей. Расчёт мощности двигателей, как и проектирование преобразователей для регулирования подводимой к ним энергии является не менее сложной задачей.



Рис. 2 – Трамвай SWIMO фирмы «Kawasaki»

Дальнейшие планы проектирования электрооборудования связаны с обоснованием на основе анализа достоинств и недостатков применения электрических машин постоянного или переменного тока, что непосредственно сказывается на схемотехнических решениях силовых цепей электрической части, а также элементной базы этих цепей.

С учётом того, что в процессе электрического торможения двигателей возможна рекуперация, силовая цепь должна содержать накопитель энергии, определение параметров и типа которого является также довольно сложной задачей.

Литература:

1. Ефремов И.С. Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов. / И.С.Ефремов, В.М.Кобозев, В.А.Юдин. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с., ил.
2. В.В.Бирюков. Конструкция и расчёт механического оборудования электроподвижного состава: учебник / В.В.Бирюков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 492 с. (Серия «Учебники НГТУ»).

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Секция ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И СИСТЕМЫ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Васильева Ю.З., Кононенко П.Н., Пак А.Я.	Томск	3
Гвоздков И.Г., Горева Л.П.	Новосибирск	6
Гришина К.А.	Новосибирск	10
Дронова Е.В., Левичев А.Е., Андрианов А.В.	Новосибирск	14
Золотарев В.В., Беломытцев М.Д., Алиферов А.И.	Новосибирск	18
Зуев С.П., Параско В.В., Чередниченко В.С.	Новосибирск	21
Колмакова М., Козулина Т.П., Блинов К.Ю.	Санкт-Петербург	25
Кондратьев С.С., Алексеенко В.М., Жерлицын А.А.	Томск	29
Кочкин В.Д., Кондратьев А.А., Чередниченко В.С.	Новосибирск	33
Молот С.В., Пыльская Е.К., Артюхов И.И.	Саратов	36
Морев А.Э., Ким Р.А., Алиферов А.И.	Новосибирск	40
Орлова А.Е., Краснов А.А.	Новосибирск	44
Павлушин А.В.	Самара	46
Перевалов Ю.Ю., Корешко К.А., Марченко В.Д.	Санкт-Петербург	51
Саркисова Е.Р., Лаврентьев В.А.	Саратов	54
Седых В.А., Горева Л.П.	Новосибирск	58
Селезнева Д.М.	Москва	61
Соловьев О.А.	Москва	65

Секция ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

Абрамов М.В., Приступ А.Г.	Новосибирск	69
Балабанов А.М., Нейман В.Ю.	Новосибирск	73
Гейнрих Г.О., Шевченко А.Ф.	Новосибирск	78
Марков А.В., Нейман В.Ю.	Новосибирск	82
Марков А.В., Нейман В.Ю.	Новосибирск	87
Никулин Р.О., Топорков Д.М.	Новосибирск	92
Павленко Б.Н., Долгих А.Г.	Томск	94
Ермолов И.С., Раджапов А.А.	Новосибирск	98
Сапаров Р.А.	Новосибирск	101
Темляков А.А., Гречкин В.В.	Новосибирск	104
Труханова М.Ю., Шевченко Л.Г.	Новосибирск	107
Ясюкевич Д.А., Шевченко Л.Г.	Новосибирск	110

Секция ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Алексеев А.А., Тютиков В.В.	Иваново	114
Блинов А.А., Кучер Е.С.	Новосибирск	117
Булуев И.И.	Томск	121
Выходцева И.А., Кавешников В.М.	Новосибирск	126
Грызунова Т.В., Кучер Е.С.	Новосибирск	129
Губская К.Г., Кавешников В.М.	Новосибирск	133
Жук С.С., Кучер Е.С.	Новосибирск	137
Макаров А.А., Боченков Б.М.	Новосибирск	140
Бутенко В.Н., Мосин М.Е., Чернов И.В.	Новосибирск	143
Мосин Р.А., Кучер Е.С.	Новосибирск	146
Рязанова Е.Д., Стальная М.И.	Барнаул	150
Сажин Н.О., Боченков Б.М.	Новосибирск	154
Тюменев Р.Р., Шевченко А.Ф.,	Новосибирск	156
Угрюмов Р.А., Аносов В.Н.	Новосибирск	160

**Секция ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ**

Бурманов С.А., Бирюков В.В.	Новосибирск	163
Внуков С.А., Бирюков В.В.	Новосибирск	167
Еланакова В.А., Нос О.В.	Новосибирск	170
Жданова А.И., Бирюков В.В.	Новосибирск	173
Карновский А.Д., Бирюков В.В.	Новосибирск	177
Колтунова Е.А., Кладиев С.Н.	Томск	180
Лаврова А.Э.	Москва	183
Лаврова А.Э.	Москва	185
Линник К.С., Нейман Л.А.	Новосибирск	186
Морозов А.А., Катасонова Е.В., Кучак С.В.	Новосибирск	190
Никонов К.О., Абрамов А.А., Петровский С.В.	Самара	194
Рожков Б.В., Бирюков В.В.	Новосибирск	198
Степанов А.В., Никулин М.Ю.	Новосибирск	200
Шевляков З.Е., Ярославцев М.В.	Новосибирск	205
Широких А.А., Бирюков В.В.	Новосибирск	208

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ
Сборник научных трудов в 9 частях

г. Новосибирск, 30 ноября-04 декабря 2020 г.

Часть 5

Под ред. Гадюкиной А.В.

Подписано в печать 16.12.2020. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 12,55. Печ. л. 13,25. Тираж 100 экз. Заказ № 40

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

