

СЕКЦИЯ «ФИЗИКА»
ПОДСЕКЦИЯ «МАТМОДЕЛИРОВАНИЕ»

Математическое моделирование грозových перенапряжений в линиях передач в условиях многолетней мерзлоты, с учетом поля заряда в слоистой среде

Артемяева Е.С.

*Аспирант 2 года обучения кафедры теоретической физики
Якутский государственный университет имени М.К. Аммосова,
Физико-технический институт, Якутск, Россия
E-mail: artemjeva_lena@mail.ru*

Проблема электромагнитной совместимости технических сооружений с атмосферным электричеством в условиях многолетней мерзлоты имеет особую актуальность. Одним из аспектов этой проблемы является вопросы повышение эффективности грозозащиты линий электропередач.

Построена модель такой задачи, в которой была рассмотрена линия передачи с одним проводником. Линия характеризуется распределенными параметрами, грозовое облако моделируется точечным зарядом Q , расположенным на высоте h над проводником и на высоте $h + l$ над проводящим полупространством. Проводник считается заземленным в бесконечно удаленной точке, потенциал Земли $\varphi = 0$. В момент времени заряд Q мгновенно исчезает (облако разряжается), тогда вдоль линии при $t > 0$ пойдет волна тока и напряжения (ВТН) – «разбегание» индуцированных зарядов, которая описывается системой телеграфных уравнений:

$$\begin{cases} U_x + Li_t + R_t = 0, \\ i_x + CU_t + GU = 0 & -\infty < x < \infty, \\ i(x,0) = 0 & t > 0 \\ U(x,0) = f(x) \end{cases}$$

Начальная функция $f(x)$ – это потенциал точечного заряда в слоистой среде, который находится методом, изложенным в [1], [2], основанный на формуле из теории функций Бесселя [3]:

$$f(r, z) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_1} \left[\frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}} - \beta^2 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \beta^{2k}}{\sqrt{r^2 + (z + 2a + 2lk)^2}} - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \beta^{2k}}{\sqrt{r^2 + (z + 2b + 2lk)^2}} \right].$$

Таким образом, получили аналитическое решение задачи Коши с учетом поля заряда в слоистой среде:

$$U(x, t) = \frac{e^{-\lambda t}}{2} \left(f(x+at) + f(x-at) + \int_{x-at}^{x+at} \frac{\mu \cdot t}{2a} \frac{I_1 \left(\mu \sqrt{t^2 - \frac{(x-t)^2}{a^2}} \right)}{\sqrt{t^2 - \frac{(x-y)^2}{a^2}}} - \frac{\lambda}{2a} I_0 \left(\mu \sqrt{t^2 - \frac{(x-y)^2}{a^2}} \right) f(y) dy \right),$$

$$i(x, t) = \sqrt{\frac{C}{L}} \frac{e^{-\lambda t}}{2} \int_{x-at}^{x+at} I_0 \left(\mu \sqrt{t^2 - \frac{\beta^2}{a^2}} \right) f(y) dy$$

С помощью пакета *Mathematica 5.1* проведены численные расчеты величин (ВТН). Исследовано поведение ВТН в зависимости от геометрического расположения облаков.

Литература

1. Пановский В., Филипс М. Классическая электродинамика. - М.: Физматлит, 1963. - с. 433 с.
2. Смайт В. Электростатика и электродинамика. - М.: Иностранная литература, 1954. - 604 с.
3. Бейтмен -- М.: Наука.

Математическое моделирование гетерофазной струи в высокоскоростном газопламенном (HVOF) напылении

Вопнерук Александр Александрович

Аспирант

Уральский Государственный Технический Университет - УПИ им. первого президента

России Б.Н. Ельцина,

Металлургический факультет, Екатеринбург, Россия

E-mail: vopneruk.a.a@mail.ru

Увеличение срока службы быстроизнашиваемых деталей возможно, как правило, за счет увеличения способности их рабочих поверхностей сопротивляться разрушению в конкретных условиях работы. Одним из эффективных решений этой задачи является упрочнение поверхности деталей износостойкими покрытиями. В результате обеспечивается повышение долговечности деталей, сочетающееся с экономией легирующих элементов, удешевлением изделий, возможность их многократного использования.

Одним из способов нанесения покрытий, получившие широкое применение, является газотермическое напыление. В настоящее время применение метода высокоскоростного газопламенного (HVOF) напыления (рис.1.) позволяет получать на изделиях разнообразных форм и размеров сравнительно толстые покрытия с необходимыми эксплуатационными свойствами.

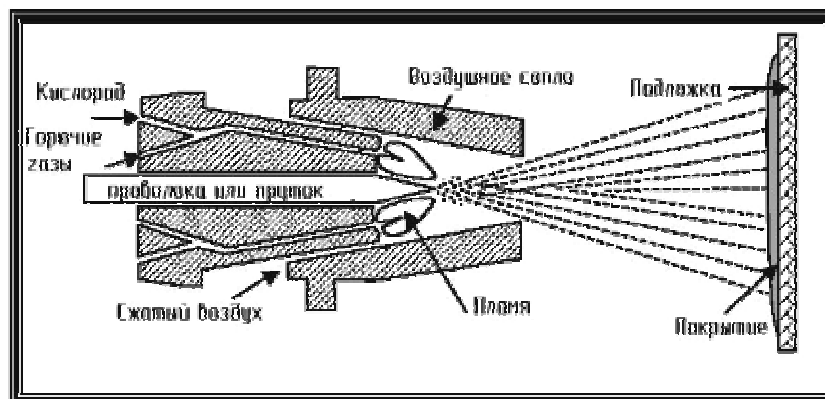


Рис. 1. Поперечный разрез проволочного или пруткового пистолета-распылителя для высокоскоростного газопламенного (HVOF) напыления

Несмотря на то, что напыление является сложным, многофакторным процессом, решить задачу оптимизации параметров напыления, можно используя современные методы компьютерного моделирования, что позволяет значительно минимизировать временные и материальные затраты. В нашем случае была создана одномерная математическая модель процесса нагрева и ускорения частиц в струе. Разработанная модель была реализована в виде расчета в математическом пакете MathCAD. Полученные результаты показали удовлетворительное совпадение экспериментальных и расчетных данных.

Применение разработанной математической модели позволило в кратчайшие сроки произвести оптимизацию параметров напыления и решить ряд сложных задач по реновации деталей машин, работающих в условиях абразивного износа.

Литература.

1. Нанесение неорганических покрытий (теория, технология, оборудование): Учеб. пособие для студентов вузов/ Г.В. Бобров, А.А. Ильин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2004. – 624 с.: ил.
2. Л.Х. Балдаев Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. – М.: Издательство «КХТ». – 2004. 134 с.

Моделирование топливных элементов с ПБИ-мембраной

* Гаврилов А.А., ** Чертович А.В.

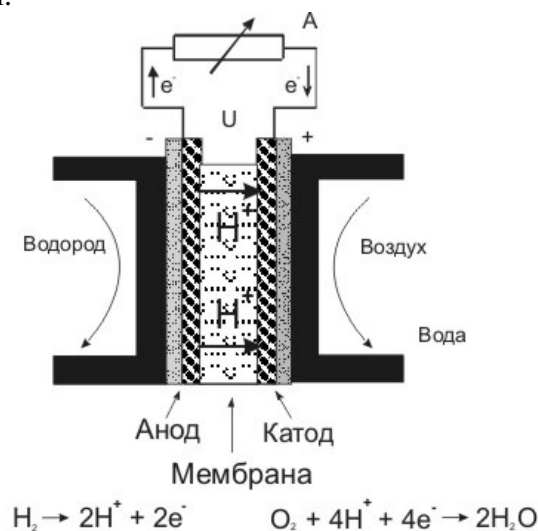
* Студент физического факультета,

** Научный сотрудник физического факультета, к.ф.м.н.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: gavrilov@polly.phys.msu.ru

Из-за своей высокой энергетической эффективности, экологичности и низкого уровня шума, топливные элементы в будущем могут стать основными энергопреобразующими устройствами. Хотя существует много видов ТЭ, именно полимер-электролитные привлекают наибольшее внимание, как наиболее удобные и безопасные в работе источники энергии.



В полимер-электролитных ТЭ водород и кислород электрохимическим образом объединяются с образованием воды, электрической энергии и небольшого количества тепла. Существует несколько способов повысить эффективность полимер-электролитных ТЭ, но в первую очередь это повышение температуры. Помимо ускорения процессов на аноде и катоде, это позволяет использовать менее чистый водород, т.к. платиновый катализатор отравляется в меньшей степени, что может существенно упростить конструкцию готовой установки и требования к входным газам. Однако, в классических МЭБ нет возможности существенно повысить температуру: протонная проводимость перфторированной мембраны становится недостаточной при повышении уже до 90С. Решением может служить замена перфторированной мембраны на мембрану из ПБИ-содержащего полимера, допированного фосфорной кислотой, что позволяет поднять рабочую температуру до 160-200С. Посредством моделирования, базирующегося на физических моделях, развитых из результатов экспериментов, можно понять процессы, происходящие в топливных элементах и предсказать поведение системы в нестандартных условиях.

Предложенная модель принадлежит к классу квази-2D моделей. Модель предполагается изотермической, с идеально увлажненной мембраной. Катодная реакция описывается уравнением Тафеля, учитываются транспортные потери в ГДС. Учитываются

омические потери во всей толще мембранно-электродного блока. Также учитываются потери, связанные с конечной кислородной стехиометрией.

Целью данной работы является получение адекватной математической модели топливного элемента, с целью выявления оптимальных режимов работы, а также возможность получения характеристик мембранно-электродного блока фиттированием ВАХ с целью уменьшения количества экспериментов, необходимых для описания данного топливного элемента.

**Математическое моделирование работы электровоза переменного тока
с целью разработки оптимального алгоритма управления
полупроводниковыми преобразователями**

Газизов Ю.В.

Студент

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
электромеханический факультет, Иркутск, Россия
E-mail: GazizovRgd@bk.ru*

Использование тиристорov в полупроводниковых выпрямителях электровозов ВЛ80Р, ВЛ85, ВЛ65, ЭП1, ВЛ80ТК, ЭП1М и 2ЭС5К («Ермак») дало возможность создать бесконтактные многозонные силовые схемы, позволяющие плавно регулировать в пределах зоны напряжение на тяговых двигателях. Однако применение тиристорov вызвало значительное искажение напряжения в контактной сети по сравнению со схемами выпрямления, построенными на полупроводниковых диодах.

На современных электровозах, для преобразования напряжения применяются выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП). Существуют 4 зоны регулирования напряжения, в зависимости от работающих плеч тиристорov и обмоток трансформатора. В процессе переключения плеч ВИП (при переходе с одной полярности напряжения на другую), вследствие наличия в силовых цепях электровоза индуктивных элементов, запасенная в них энергия не может измениться мгновенно (первый закон коммутации), что приводит к возникновению послекоммутационных колебаний. И в связи с этим процесс регулирования работы ВИП, несет в себе огромное влияние на работу всех силовых цепей электровоза, работу других электровозов, работу смежных с железнодорожной линией систем связи и, по сути, является первопричиной большинства отказов электрического и электронного оборудования электровозов.

По данным ОАО «РЖД» ущерб от невыполнения требований ГОСТ 13109-97 только по двум показателям качества электроэнергии может ежегодно составлять порядка 1,2-1,4 млрд. рублей по сети железных дорог. Это определяет актуальность и экономическую значимость данной проблемы.

Для исследования причины искажения напряжения в тяговой сети с помощью пакета схемотехнического моделирования OrCAD 9.2 реализован комплекс математических моделей для исследования электромагнитных процессов в контактной сети и электровозе, для определения показателей качества электроэнергии при работе электровозов переменного тока, а также для разработки оптимального алгоритма управления ВИП. Смоделирована работа электровоза ВЛ85. Структурная схема модели представлена на рисунке 1. Электровоз в модели рассмотрен как комплексная система, состоящая из нескольких подсистем, взаимодействующих между собой. Такими подсистемами являются электрическая часть, система управления электровоза и контактная сеть.

Для снижения амплитуды высших гармоник и частоты послекоммутационных колебаний предлагается следующие мероприятия. В первом случае применение разрядного диода, который включается параллельно работающим тяговым электрическим двигателям и несет в себе функцию гашения запасенной индуктивными элементами энергии. Во втором случае применение разнофазного управления (РФУ) ВИП по секциям, с чередованием

отклонения угла импульса управления, с адаптивной системой разноса угла управления ВИП по секциям.

Работа электровоза в типовом и предлагаемом режиме была смоделирована при помощи программы схемотехнического моделирования OrCad 9.2. Анализируя данным образом работу электровоза, на четвертой зоне регулирования, в наиболее тяжелом режиме, получена диаграмма напряжения контактной сети (Рис 2).

При использовании предлагаемых алгоритмов существенно улучшаются характеристики напряжения в контактной сети (Рис 3).

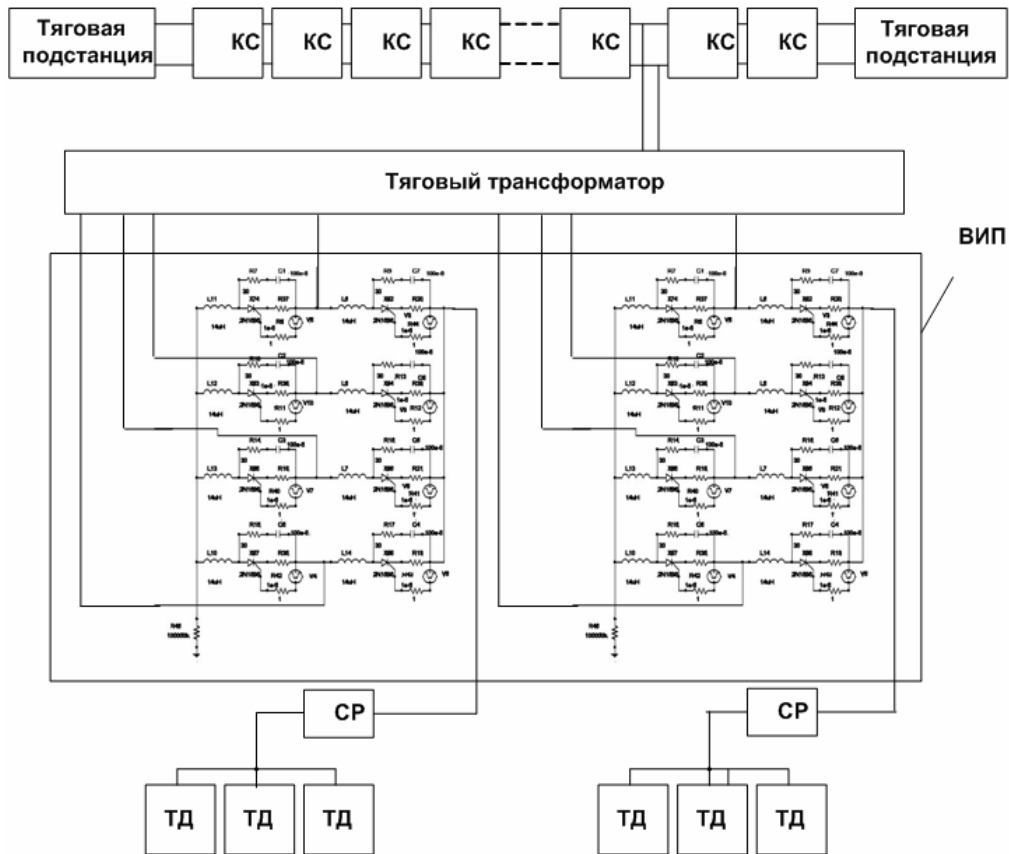


Рис 1. Структурная схема модели «Тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз»

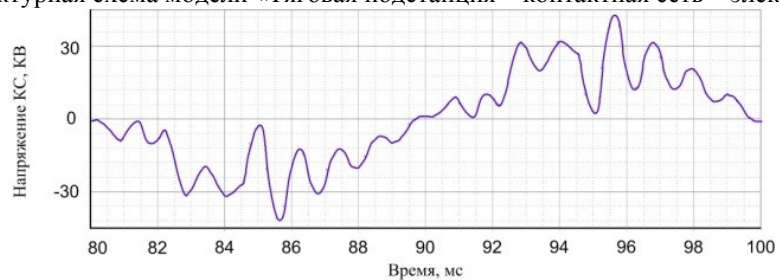


Рис 2. Диаграмма напряжения в контактной сети, при часовом режиме работы ТЭД на четвертой зоне регулирования напряжения ВИП

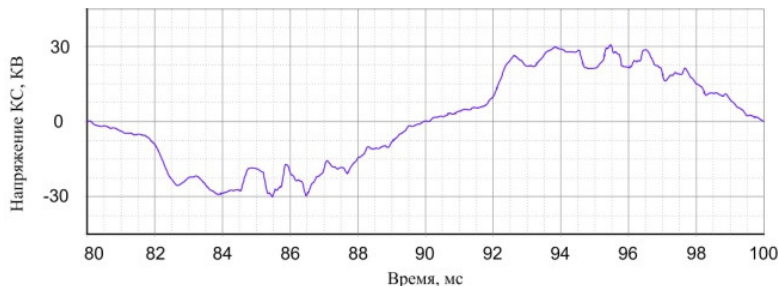


Рис 3. Диаграмма напряжения в контактной сети при использовании предлагаемых алгоритмов работы ВИП

Использование новых алгоритмов управления, разработанных теоретически и опробованных на модели, позволит существенным образом улучшить характеристики напряжений в контактной сети, а, следовательно, снизить негативное влияние на работу самого электровоза, других электровозов, работающих на данной фидерной зоне, работу всех смежных с железнодорожной линией передающих и управляющих устройств.

Улучшение качества речевых сигналов

Герасимов Николай Борисович

Студент

Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова,

физический факультет, Ярославль, Россия

E-mail: nikolay.gerasimov@piclab.ru

До последнего времени в цифровой обработке сигналов в основном использовались методы линейной фильтрации, что связано с наличием подходящего математического аппарата, простотой интерпретации и расчета линейных фильтров. Эти методы стали уже классическими и активно используются в системах связи, радио- и гидролокации, для анализа и синтеза речи, в системах обработки изображений, компьютерной томографии и др. В последнее время медианные фильтры на ранговой статистике [1], популярные при обработке изображений, находят все более широкое применение при обработке звуковых сигналов. Особенно эффективным медианный фильтр оказывается при восстановлении звуковых сигналов, искаженных импульсным шумом.

Причиной появления импульсов в одномерных сигналах могут быть как внешние импульсные электромагнитные помехи, так и наводки, сбои и помехи в работе самих систем генерации и передачи звукового сигнала. В данной работе сравнительный анализ эффективности использования медианных и линейных фильтров для удаления импульсного шума с фиксированными и случайными значениями импульсов из речевых сигналов, используя оценку качества восстановленного сигнала на основе критерия PESQ [2]. В качестве тестовых последовательностей были выбраны эталонные речевые файлы в формате WAV с речью на английском языке. Частота дискретизации берется равной 8 кГц, число бит на отчет - равным 16.

Для обработки файлов используются одномерные медианные фильтры размером 3*1, 5*1, 7*1, 9*1 и одномерные взвешенные медианные фильтры тех же размеров. На рис. 1 представлены результаты восстановления речевого сигнала, искаженного импульсным шумом для разных степеней зашумления. Результаты исследований свидетельствуют о превосходстве взвешенных медианных фильтров над линейными методами и классическим медианным фильтром. Кроме того, определены оптимальные параметры взвешенного медианного фильтра для тестовых речевых сигналов.

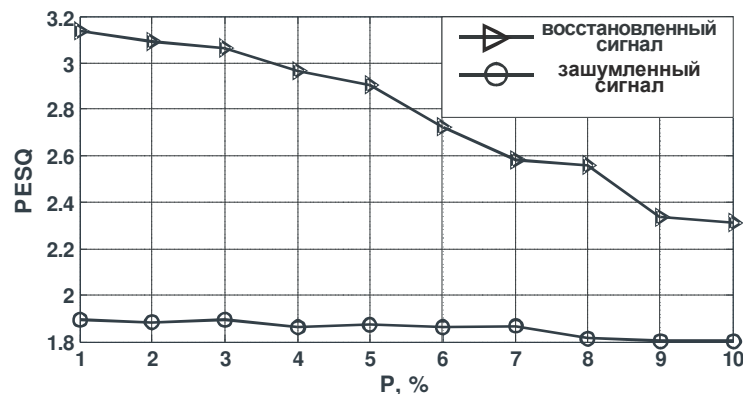


Рис.1. Зависимость критерия PESQ от плотности импульсного шума для зашумленных и обработанных взвешенным медианным фильтром тестовых звуковых сигналов

Литература

1. Апальков И.В., Хрящев В.В. Удаление шума из изображений на основе нелинейных алгоритмов с использованием ранговой статистики // Тр. 17-й Межд. конф. по компьютерной графике, машинному зрению, обработке изображений и видео GraphiCon'2007. Москва, 2007. С. 20.1-20.4.
2. Yli-Harja O., Astola J., Neuvo Y. Analysis of the properties of median and weighted median filters using threshold logic and stack filter representation // IEEE Trans. on Signal Processing, 39(2). 1991. P. 395-410.

Оценка параметров пористой среды по ее структурной модели

Гришин П.А.¹

Студент

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия

E-mail: gripavel@rambler.ru

Пористые среды широко распространены в природе и играют значительную роль в процессах, связанных с деятельностью человека, например, с добычей полезных ископаемых, возведением инженерных сооружений, и многим другим. Исследуя физические свойства пористых сред можно проводить оценку нефтезапасов, предсказывать возможность ряда техногенных катастроф и так далее. Нами были рассмотрены пористые среды на примере пористых горных пород. В качестве основных параметров были выбраны пористость и удельная поверхность пор.

Нами были разработаны алгоритмы оценки пористости и удельной поверхности на основе построения и анализа структурной модели широкого класса пористых сред. Для решения этой задачи был проведен анализ изображений сечений образцов горной породы, полученных с помощью оптического микроскопа, растрового электронного микроскопа и рентгеновского томографа. Для выделения структурных элементов на этих изображениях использован морфологический метод. Получены методы оценки однородности и изотропности пористых сред на основе анализа изображений сечений. Нами были разработаны методы анализа геометрии структурных элементов в изображениях двумерных сечений образца и созданы две вероятностные модели восстановления трехмерной геометрии, оценки пористости и удельной поверхности. Выбраны и обоснованы критерии «геометрической похожести» пористых сред и на базе этих критериев разработан набор алгоритмов генерации широкого класса искусственных пористых сред, тождественных по некоторому набору параметров соответствующим естественным средам. С помощью этих алгоритмов создан набор искусственных сред с различными параметрами.

Для проверки вышеуказанных алгоритмов построена экспериментальная компьютерная структурная модель образца горной породы на основе изображений, полученных методом рентгеновской томографии. Для реализации этой визуализируемой динамической компьютерной модели разработан широкий набор алгоритмов анализа пористых сред, а также гибкие алгоритмы генерации искусственных пористых сред. Для реализации этих алгоритмов нами был создан программный комплекс.

Литература

1. Ромм Е.С. (1985) Структурные модели порового пространства горных пород. М.:Недра.
2. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. (1989) Микроструктура глинистых пород. М.:Недра.
3. Sertug Sogutlu, Bahattin Koc (2004) Stochastic Modeling of Tissue Engineering Scaffolds with Varying Porosity Levels. Buffalo-State University of New York.

¹ Автор выражает признательность доценту Грачеву Е.А. за помощь в подготовке тезисов.

4. Pyt'ev Yu.P., Chulichkov A.I., Zadorozhny S.S. (2000) Morphological Methods in Automatic Recognition of Cars' License Plates from Their Video-Images. Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 10, No 2, 2000, pp. 288-292.

5. Uleberg K. and Kleppe J. Dual Porosity, Dual Permeability Formulation for Fractured Reservoir Simulation (1996). Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Stavanger.

Некоторые задачи нормализации изображений рукописных надписей²

Демин Д.С.³

аспирант физического факультета

Московский Государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: dmitry.demin@gmail.com

При создании классификаторов рукописных текстов возникает проблема нормализации изображений - преобразования изображения текста к некоторому стандартному виду. В работе решаются следующие две задачи, связанные с проблемой нормализации: задача оценивания среднего угла наклона и задача оценивания поля локальных деформаций области зрения для изображений рукописных надписей.

При оценке среднего угла наклона изображения анализ осуществляется на основе понятия формы [1] изображения как линейного подпространства V_α пространства L^2 всех изображений, состоящего из линейных комбинаций изображений вида

$\chi_i(\cdot): \chi_i(x) = \begin{cases} 1, x \in A_i \\ 0, x \notin A_i \end{cases}$, где A_i -область поля зрения X , имеющая геометрическую форму

сильно вытянутого прямоугольника с углом наклона α к вертикальному направлению и отстоящая от начала строки на расстояние z_i , $i=1, \dots, W$. В работе по результату ξ регистрации изображения рукописного текста, искаженного аддитивной гауссовой помехой, построены оценки максимального правдоподобия параметра α формы изображения, которая сводится к задаче минимизации функционала $\|\xi - P_\alpha \xi\|^2 \rightarrow \inf_\alpha$, где P_α - оператор ортогонального проецирования в L^2 на V_α .

Перейдем ко второй задаче. Для анализа предъявляется изображение $f(\cdot): X \rightarrow R^1$, $f(x) = g(u(x)) + v(x)$, $x \in X$, отличающееся от эталонного изображения $g(\cdot)$ локальными деформациями поля зрения X и аддитивной погрешностью $v(\cdot)$. Здесь $u(\cdot): X \rightarrow X$ - неизвестное поле локальных деформаций области X . По результатам наблюдения изображений $f(\cdot)$ и $g(\cdot)$ оценивается поле $u(\cdot)$ методом эластичного совмещения [2], а также путем минимаксного оценивания гарантированной надежности. Метод эластичного совмещения основан на минимизации функционала потенциальной энергии $\pi[u(\cdot)] = D[u(\cdot)] + \lambda J[u(\cdot)]$ путем выбора $u(\cdot)$, где $D[u(\cdot)]$ - функционал, описывающий близость деформированного и эталонного изображения, $J[u(\cdot)]$ - функционал, описывающий энергию упругих деформаций поля зрения. При минимаксном оценивании распределение случайной погрешности $v(\cdot)$ считается известным, строится случайное множество S минимального размера, оценивающее поле u с заданной надежностью [3] и строится оценка \hat{u} поля u , минимизирующая максимальную погрешность: $h(\hat{u}) = \min_{\tilde{u}} \max_{u \in S} \|u - \tilde{u}\|$. В работе приводится сравнение результатов эластичного совмещения

² Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 08-07-00120-а.

³ Автор выражает признательность д.ф.-м.н. проф. Чуличкову А.И. за помощь в подготовке тезисов.

и минимаксного оценивания гарантированной надежности на изображениях рукописных надписей.

Литература

1. *Пытьев Ю.П.* Задачи морфологического анализа изображений. - В сб.: Математические методы исследования природных ресурсов Земли из космоса. М.: Наука. 1984.
2. *Bernd Fisher, Jan Modersitzki* FLIRT: A Flexible Image Registration Toolbox.
3. *Пытьев Ю.П.* Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем // М.: Физматлит, 2002. - 384с.

Параллельный алгоритм с переменным шагом для моделирования филаментации мощного фемтосекундного лазерного импульса на вычислительном кластере

Дергачев А.А.

Студент

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: dergachev88@yandex.ru

При распространении мощных фемтосекундных лазерных импульсов в прозрачных изотропных средах, например, в атмосфере, совместное проявление самофокусировки за счет керровской нелинейности и дефокусировки в самонаведенной лазерной плазме может приводить к образованию филаментов – нитевидных структур с относительно высокой концентрацией энергии, вытянутых по направлению распространения импульса [1].

Характерная особенность этого явления – большой диапазон пространственных масштабов, в котором развивается филаментация. Поперечный размер импульса на выходе лазерной системы – более 1 см, а размер филамента – менее 100 мкм. С учетом того, что при численном моделировании процесса филаментации размер расчетной сетки должен на порядок превышать размер пучка, а шаг сетки быть на порядок меньше размера филамента, количество узлов сетки только в поперечном сечении импульса может достигать величины порядка 10^8 . Это требует применения мощных вычислительных комплексов и алгоритмов параллельных вычислений.

Данная работа посвящена развитию предложенных в [2, 3] двух алгоритмов распараллеливания вычислений для моделирования процесса филаментации. Показано, что в случае среды без дисперсии алгоритм с пространственным разбиением позволяет организовать кольцевую расчетную схему и требует существенно меньшего числа операций обмена данными, чем алгоритм с разбиением по бегущему времени. В работе предложено дополнительное распараллеливание по одной пространственной переменной – декартовой координате в поперечном сечении, что позволило существенно увеличить максимальное число процессов, на которых запускается программа, и тем самым сократить расчетное время. Параллелизм реализован на базе технологии MPI, предназначенной для вычислительных систем с разделенной памятью⁴.

Литература

1. Кандидов В.П., Шленов С.А., Косарева О.Г. (2009) Филаментация мощного фемтосекундного лазерного излучения. // Квантовая электроника, т. 39, № 3, с. 204-227.
2. Безбородов А.Е., Шленов С.А. (2006) Формирование плазменных каналов при многофиламентации лазерного импульса в турбулентной атмосфере // Известия РАН. Серия физическая, 2006, том 70, № 9, с. 1246-1250.
3. Shlenov S., Bezborodov A., Smirnov A. (2006) Parallel Algorithm for Filamentation of High-Power Super-Short Laser Pulses / *Proc. Int. Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'06, Las Vegas, Nevada, USA, June 26-29, 2006)*, v. 1, p. 286-291.

⁴ Расчеты выполнены на вычислительном кластере СКИФ МГУ «Чебышёв»

Электровихревые течения в сталеплавильных печах

Казак О.В.⁵

Аспирант

Донецкий Национальный Университет, Донецк, Украина

E-mail: olegkazak@yandex.ru

Для выплавки металла широкое распространение получили электрические печи, работающие на постоянном токе. Примерная схема такой печи с двумя электродами приведена на рис. 1, где 1 – огнеупорная футеровка, 2 – жидкий металл, 3 – электроды, \vec{j} и \vec{B} – линии плотности тока и магнитной индукции. Вихревое течение жидкости возникает при подводе электрического тока к проводящей жидкости в отсутствие внешних магнитных полей при пространственной неоднородности электрического тока.

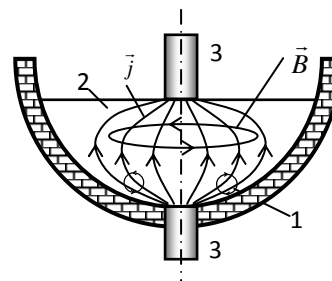


Рис. 1

Построена математическая модель электрической печи для выплавки стали, основанная на общепринятых уравнениях магнитной гидродинамики. Предложенная модель не имеет аналитического решения и решалась численно методом конечных элементов при помощи пакета ANSYS. Рассматриваемая задача относится к категории сопряженных, поэтому ее решение с помощью прикладного пакета ANSYS следует выполнять поэтапно:

1-й этап – моделирование электромагнитных полей;

2-й этап – моделирование электровихревых течений;

3-й этап – моделирование электровихревых течений с учетом теплообмена и конвекции.

Рассмотрена модель в осесимметричной постановке электрической печи, на которой отработаны методы расчета электромагнитных полей при помощи пакета ANSYS. Расчеты проводились с использованием различных видов анализа на различных сетках. Исследовано влияние граничных условий на границах расчетной области на параметры в центральной зоне. Выяснено существенное влияние на результаты расчетов размеров расчетной сетки и формы конечных элементов. Проведены расчеты для трехмерной модельной постановки, а так же для реальной электрометаллургической печи.

Результаты расчетов в ANSYS сравнивались с расчетами в FEMLAB и экспериментальными данными. На рис. 2 приведено векторное и контурное поле силы Лоренца около подового электрода (анода). Результаты расчетов подтверждают факт, что сила Лоренца в таких печах является определяющей при возникновении электровихревого течения. Хорошее совпадение расчетов разными методами и пакетами говорит о надежности методов и достоверности результатов.

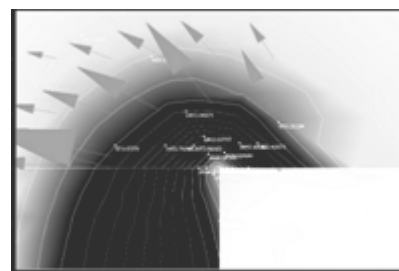


Рис. 2

Литература

1. Бояревич В.В., Фрейберг Я.Ж., Шилова Е.И., Щербинин Э.В. Электровихревые течения / Под ред. Щербинина Э.В. – Рига: Зинатие, 1985. – 315 с.
2. Повх И.Л., Капуста А.Б., Чекин Б.В. Магнитная гидродинамика в металлургии. – М.: Металлургия, 1974. – 240 с.
3. Левич В.Г. Курс теоретической физики: В 2 т. Т. 1 / В.Г. Левич . – М.: Наука, 1969 г., 912 с.
4. Release 11.0 Documentation for ANSYS

⁵ Автор выражает признательность профессору, д.т.н. Семко А.Н. за помощь в подготовке тезисов.

Численное моделирование процессов получения ультрамелкозернистых материалов динамическими методами интенсивной пластической деформации⁶

Коробенков М.В.⁷, Козулин А.А.

*Магистрант второго года, старший преподаватель
Томский государственный университет, физико-технический
факультет Томск, Россия
E-mail: maxik_tomsk@mail.ru*

Для получения металлов и сплавов с объемной ультрамелкозернистой структурой широко применяются методы интенсивной пластической деформации (ИПД). Актуальной задачей, связанной с совершенствованием технологий, реализующих методы ИПД, является изучение процессов формирования ультрамелкозернистой структуры в объеме материалов методами компьютерного моделирования. Создание алгоритма численного моделирования процессов деформации и построение адекватной математической модели, описывающей все тонкости появления ультрамелкого зерна в материале заготовки, является основой для исследования многих не до конца объясненных физических процессов, происходящих при ИПД.

Целью данной работы является разработка модели, описывающей процессы деформации и эволюции структуры металлических образцов, при использовании модифицированного динамического метода равноканального углового прессования (РКУП). В рассматриваемом методе цилиндрический металлический стержень влетает в канал со скоростью в несколько сотен метров в секунду и претерпевает деформацию под действием инерционных сил.

Для изучения закономерностей эволюции напряженно-деформированного состояния материала при движении стержня через канал проводилось численное моделирование методом частиц с применением программного комплекса ANSYS Workbench 11/AUTODYN. Для описания пластического течения в образце использована микродинамическая модель, учитывающая особенности деформационного упрочнения и чувствительность напряжения течения в широком диапазоне скоростей деформации, а также разупрочнения в результате динамической рекристаллизации и температурного разупрочнения. Изменение размеров зерна в зависимости от накопленной плотности дислокаций, степени пластической деформации и температуры оценивалось с помощью феноменологических соотношений. На практике материал каналов выбирается намного жестче материала образца, поэтому при построении физико-математической модели деформациями каналов и, соответственно, возникающими в них напряжениями пренебрегаем.

Показано, что при прохождении стержня через канал в объеме материала формируется неоднородное распределение неупругих деформаций. Результаты моделирования согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Показано, что разработанная вычислительная модель позволяет исследовать закономерности развития пластических деформаций, эволюции зерна при интенсивной пластической деформации при динамическом нагружении.

Оценка влияния связанной воды на терагерцовые спектры поглощения и преломления водных растворов

Кулешов Евгений Андреевич

Сотрудник

Физический институт академии наук, Москва, Россия

E-mail: evgeniy_kuleshov@mail.ru

⁶ Тезисы доклада основаны на материалах исследований, проведенных в рамках гранта АВЦП ФАО РФ Пер. № 5993.

⁷ Автор выражает признательность профессору, д.ф.-м.н. Скрипняку В.А. за помощь в подготовке тезисов.

Терагерцовая спектроскопия водных растворов интересна ввиду пикосекундного времени релаксации водородных связей в воде, и, одновременно с этим, очень сложна из-за большого поглощения жидкой воды (порядка 10^2 см^{-1}). В настоящей работе указанная трудность преодолена с помощью эффекта полного внутреннего отражения, реализуя его с помощью заведения терагерцового излучения внутрь кремниевой призмы. В работе рассматривался раствор арабинозы, однако по предложенной методике можно оценить влияние связанных молекул воды с любым соединением, что интересно при анализе функционирования белков в естественной среде.

Влияние связанной с арабинозой воды оценивалось посредством экстраполяции концентрационных зависимостей коэффициента поглощения и показателя преломления до предполагаемых модельно значений концентрации. Раствор представлялся в виде суммы не взаимодействующих компонент свободной воды и молекул арабинозы в сольватной оболочке. Чтобы определить размер этой оболочки – число связанных молекул воды, необходимо экстраполировать концентрационные зависимости до концентраций молекул арабинозы, при которых исчезают свободные молекулы воды. Ясно, что приготовить такой раствор невозможно, поэтому построение модели необходимо. В работе предполагалось отсутствие взаимодействия между связанной водой и арабинозой. Таким образом, для каждой частоты спектра поглощения возникало ограничительное условие, выражаемое для всего спектра функционалом $X(C)$.

$$X(C) = \sum_{\omega} \left[\frac{\frac{\alpha(\omega)}{C} - \left[\frac{C_{\text{воды}}(C)}{C} \cdot \varepsilon_{\text{воды}}(\omega) + \varepsilon \right]}{\frac{\Delta\alpha(\omega)}{C}} \right]^2$$

здесь C – концентрация арабинозы, $\alpha(\omega)$ и $\Delta\alpha(\omega)$ суть коэффициент поглощения раствора, (вычисленный как экстраполяция линейной концентрационной зависимости коэффициента поглощения для каждой частоты до оптимальной концентрации) состоящего только из квазимолекул сорбента и погрешность его определения, $\varepsilon_{\text{воды}}$ – коэффициент экстинкции воды. Оптимальное значение концентрации арабинозы $5,37$ моль/л, а число связанных молекул воды составляет $5,2 \pm 0,5$. Аналогичные построения для показателя преломления дают число связанных молекул воды $3,65 \pm 0,7$.

Большие различия внутри спектроскопического расчета между подходом через поглощение и через преломление говорит об отличии свойств связанной воды от свойств свободной. На основании настоящей работы можно сделать вывод о более низком преломлении ($\approx 75\%$) и более высоком поглощении связанной воды ($\approx 105\%$).

Литература

1. M. Nagai, H. Yada, T. Arikawa, K. Tanaka "Terahertz time-domain attenuated total reflection spectroscopy in water and biological solution" // International Journal of Infrared and Millimeter Waves, Vol. 27, 2006 No. 4 p. 505.
2. J. Xu, K.W. Plaxco, S. J. Allen "Probing the collective vibrational dynamics of a protein in liquid water by terahertz absorption spectroscopy" // protein Science Vol. 15, 2006, pp.1175-1181
3. М.М. Назаров, А.П. Шкуринов, Е.А. Кулешов, В.В. Тучин, "Терагерцовая импульсная спектроскопия биологических тканей", Квант. электроника, 2008, 38 (7), 647-654.)
4. U. Heugen etc "Solute-induced retardation of water dynamics probed directly by terahertz spectroscopy" // PNAS Vol.103, 2006, 12301-12306

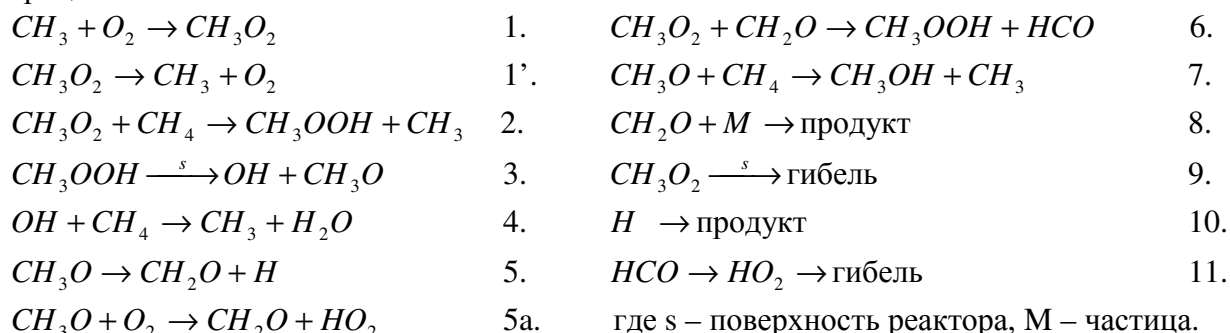
Моделирование осцилляционного режима реакции окисления метана с учетом гетерогенных радикальных стадий

Малхасян В.Р.

Студент физического факультета

Ереванский государственный университет, Ереван, Армения
E-mail: vahmalk@yahoo.com

Исследованы осцилляционные режимы окисления метана в проточных условиях. На основании схемы окисления метана [1], выделена краткая модель цепного радикального процесса.



Осцилляционный режим реакции возможен при наличии отрицательной обратной связи. Эту роль в схеме выполняет стадия 6, поскольку радикал HCO быстро переходит в менее активный радикал HO₂.

Изучена роль гетерогенных радикальных стадий 6 и 9 в возбуждении концентрационных колебаний. Гибель пероксидных радикалов рассматривается с учетом заполнения поверхности и ее скорость представляется в форме, характерной для гетерогенных процессов:

$$W_9 = \frac{A[CH_3O_2]}{(1 + \alpha[CH_3O_2])}, \quad \text{где } A \text{ и } \alpha \text{ – параметры.}$$

Система дифференциальных уравнений для изменения концентрации продуктов решалась в квазистационарном приближении для концентрации радикалов OH, CH₃O, CH₃ на начальной стадии реакции, когда пренебрегается расходом метана и кислорода.

$$[CH_4]_0 = 4.7 \times 10^{17} \text{ молек./см}^3, \quad [O_2]_0 = 2.3 \times 10^{17} \text{ молек./см}^3, \quad T = 825K, \quad K_2 = 350 \text{ с}^{-1}.$$

Величины констант скорости гетерогенных радикальных стадий были в рамках допустимых значений [1].

В результате система сводится к двум уравнениям:

$$\frac{dX}{dt} = K_2' X - k_6' XY - AX / (1 + \alpha X) \quad (1)$$

$$\frac{dY}{dt} = K_2' X - k_6' XY - K_8 Y \quad (2)$$

где $[CH_3O_2] = X$; $[CH_3O] = Y$; $K_2 = k_2[CH_4]$; $K_2' = mK_2$; $k_6' = k_6(1 - m)$;

$$m = \frac{k_3[CH_3OOH]}{(K_2 + k_6[CH_2O])[CH_3O_2]}; \quad 0 < m < 1.$$

Для выяснения возможности колебательного режима в системе использовался математический аппарат, предложенный в [2] и развитый в [3]. Наличие колебательного режима определяется существованием особой точки типа фокуса.

Анализ особых точек уравнений (1) и (2) показал, что в зависимости от величин констант скорости гетерогенных стадий и значений параметров в случае устойчивого фокуса имеют место затухающие колебания, а концентрационные автоколебания – при наличии неустойчивого фокуса, когда наблюдается предельный цикл. В качестве примера на рис.1 приведены фазовый портрет системы и изменения концентраций радикалов CH₃O₂ и формальдегида в зависимости от времени (с).

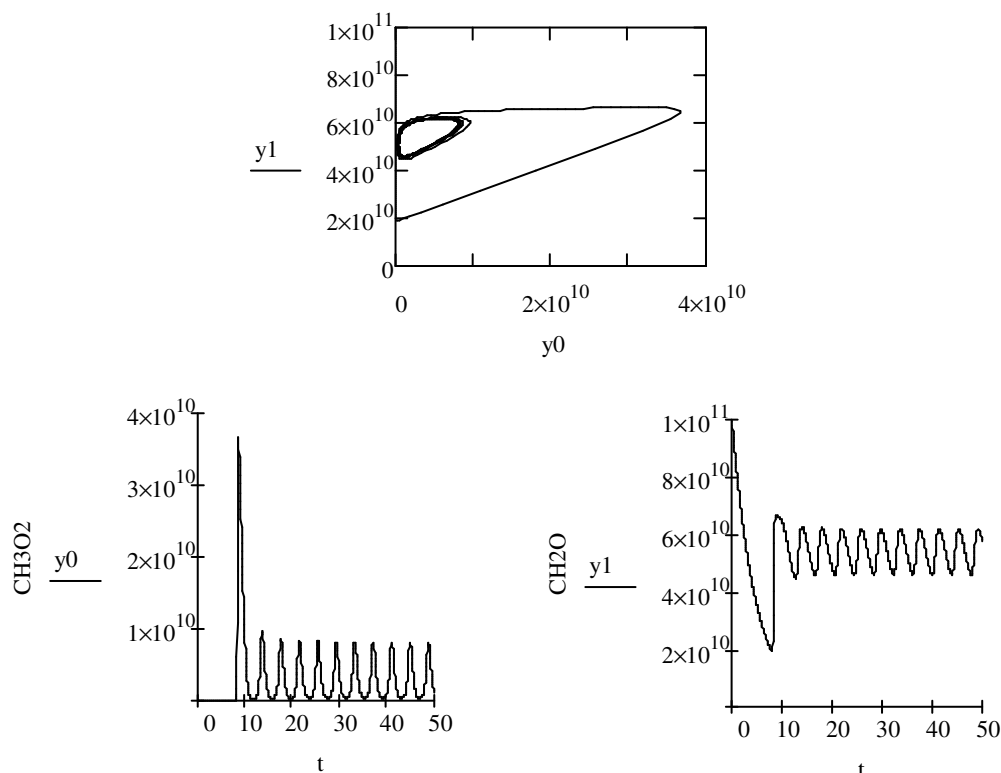


Рис 1. Фазовый портрет системы и изменения концентраций радикалов CH_3O_2 и CH_2O в зависимости от времени. $K_2' = 26.25 \text{ c}^{-1}$; $k_6' = 3.88 \times 10^{-10} \text{ см}^3 \text{ молек.}^{-1} \text{ c}^{-1}$; $K_8 = 0.207 \text{ c}^{-1}$; $A = 6.9 \text{ c}^{-1}$; $\alpha = 1.5 \times 10^{-10} \text{ см}^3 \text{ част}^{-1}$; $m = 0.075$.

На основании полученных результатов сделан вывод, что гетерогенные радикальные стадии влияют на характер динамического режима процесса.

Литература

1. Vardanyan I.A., Nalbandyan A.B. (1985) On the Mechanism of Thermal Oxidation of Methane // International Journal of Chemical Kinetics, v.17, p.901-924.
2. Франк-Каменецкий Д.А. (1967) Диффузия и теплопередача в химической кинетике // Москва, Наука.
3. Грей П., Скотт С. (1988) Колебания и бегущие волны в химических системах // Москва, Мир.

Восстановление рельефа поверхности по её изображениям

Мошенцева А.В., Чекушин А.В.⁸

Студенты

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия

E-mail: hip2@mail.ru

В данной работе была решена задача восстановления рельефа поверхности по её фотоизображениям. Подобные задачи встречаются повсеместно. В нашем случае – восстановление текстуры алюминиевого проката по его изображениям для определения брака уже на этапе изготовления.

Для восстановления рельефа требуется знать отражающие свойства поверхности, её положение относительно камеры, её ориентацию в пространстве, расположение и вид источников, которыми она освещалась в момент фотографирования. В качестве модели отражательных свойств мы используем ламбертову модель. Лист алюминия имеет прямоугольную форму, а фотокамера располагается над ним. 4 фотоизображения получаются при последовательном освещении его с 4-х углов 4-мя точечными источниками. Ориентация поверхности задается нормалью к поверхности в каждой её точке. Систему координат мы выбираем так, чтобы ось z была направлена на изображение вдоль оптической оси фотокамеры и чтобы наиболее удаленные от камеры точки поверхности лежали в плоскости $z = 0$. Тогда нормаль определяется частными производными z_x, z_y в данной точке. При сделанном предположении о ламбертовости имеет место связь: $I(x, y) = \frac{(\vec{n}(x, y), \vec{h} - \vec{r}(x, y))}{|\vec{h} - \vec{r}(x, y)|^3} I_0$, где $\vec{n}(x, y)$ – нормаль к поверхности в точке (x, y) ,

$\vec{r}(x, y)$ – радиус-вектор данной точки поверхности, \vec{h} – вектор из данной точки поверхности на источник освещения, $I(x, y)$ – яркость соответствующей точки изображения, I_0 – интенсивность источника. Имея 4 изображения, а следовательно и 4 уравнения, вычисляем 3 координаты \vec{n} , а по ним – значения z_x, z_y . Используя их, методом наименьших квадратов находим координату z , которая и задает искомый рельеф поверхности. С другой стороны, т.к. мы имеем 4 уравнения для 3-х неизвестных, то система является переопределенной. Переопределенная система однородных уравнений (данную систему можно свести к однородной) имеет нетривиальное решение, только если её определитель равен нулю. Уравнение $\det = 0$ является уравнением для определения z . Оно нелинейно, но его можно линеаризовать, используя разложение в ряд Тейлора. Эти 2 метода были реализованы на компьютере и показали хороший результат восстановления.

Практически все встречающиеся в природе поверхности не являются ламбертовыми. Но многие по своим оптическим свойствам близки к ламбертовым (их мы будем называть квазиламбертовыми). Нами поставлена и решена задача определения критерия применимости методов восстановления ламбертовых поверхностей к квазиламбертовым. Также разработан и реализован метод учёта дополнительной информации для восстановления квазиламбертовых поверхностей.

Литература

1. Horn, В.К.Р. (1986) Robot Vision, MIT Press, Cambridge, MA & McGraw-Hill, New York, NY.
2. Калиткин Н.Н. (1978) Численные методы. М.: Наука.
3. Гершун А. А. (1958) Избр. труды по фотометрии и светотехнике, М.
4. Сапожников Р. А. (1967) Теоретическая фотометрия, 2 изд., Л.
5. Гуревич М. М. (1968) Введение в фотометрию, Л.
6. www.ixbt.com/soft/miss_ph.shtml (Mental ray 3.3 для 3ds max. Часть 3).

⁸ Авторы выражают признательность профессору, д.ф.-м.н. Пытьеву Ю.П. за помощь в подготовке тезисов.

Оптимизация параметров ранжирующего фильтра генетическим алгоритмом

Никитин Анатолий Евгеньевич

Студент

Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова,

физический факультет, Ярославль, Россия

E-mail: nikitin@piclab.ru

Использование классических линейных и медианных фильтров для решения задач удаления импульсного шума из изображений приводит к нежелательному размытию контуров объектов. Для решения этой проблемы рядом авторов предлагается применение нелинейных цифровых фильтров, например, подхода на основе ранжирующей фильтрации [1].

Принцип действия ранжирующего фильтра основан на вычислении набора ранжированных разностей $d_k(n)$, $k=1, \dots, 4$, которые несут в себе информацию о вероятности повреждения текущего пикселя. При этом решение о том, является ли текущий пиксель $x(n)$ поврежденным, принимается, используя ряд пороговых значений T_1, T_2, T_3, T_4 , исходя из которого алгоритм считает $x(n)$ шумом, если выполняется хотя бы одно из следующих неравенств:

$$d_k(n) > T_k, \quad k=1, \dots, 4.$$

Если текущий пиксель признается зашумленным, то далее его значение заменяется ранжированным средним:

$$m(n) = \frac{r_4(n) + r_5(n)}{2},$$

где $r(n) = [r_1(n), r_2(n), \dots, r_8(n)]$ – вектор, состоящий из пикселей, попавших в окно фильтра, центрированное на текущем пикселе $x(n)$.

Для определения оптимальных параметров ранжирующего фильтра T_1, T_2, T_3, T_4 в смысле критерия информационной точности (КИТ) [2] используется классический генетический алгоритм. Каждый параметр T_1, T_2, T_3, T_4 представляется геном в хромосоме, а под хромосомой понимается некоторый набор этих четырех параметров (генов). Каждый ген кодируется битовой строкой, однозначно определяющей значение параметра. Целевая функция, соответствующая конкретному набору значений параметров фильтра, определяется как усредненное значение КИТ для набора тестовых изображений, восстановленных данным фильтром.

Применение генетического алгоритма позволило подобрать оптимальные параметры ранжирующего фильтра. Анализ полученных данных показывает, что для параметров T_3, T_4 при плотностях шума от 0,2 до 0,6 оптимальные значения практически не меняются и составляют в среднем 18 и 42 соответственно. Похожее заключение можно сделать относительно параметра T_2 , поскольку при степенях зашумления {0,3; 0,4; 0,6} его значения также изменяются незначительно (около 230). Однако при других плотностях шума, в частности 0,5, значение параметра T_2 значительно отличается. Такие наблюдения позволяют утверждать, что в пространстве параметров существует несколько субоптимальных областей, которые в зависимости от плотности импульсного шума становятся то глобальным оптимумом, то локальным.

Литература

3. Апальков И.В., Хрящев В.В. Удаление шума из изображений на основе нелинейных алгоритмов с использованием ранговой статистики // Тр. 17-й Межд. конф. по компьютерной графике, машинному зрению, обработке изображений и видео GraphiCon'2007. Москва, 2007. С. 20.1-20.4.

4. Апальков И.В., Абдуллоев А.А. Сравнительный анализ эталонных алгоритмов оценки качества изображений // Доклады 10-й Межд. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Москва, 2008. Т. 2. С. 463-466.

Молекулярно-динамическое моделирование взаимодействия ионов титана с поликристаллической железной мишенью

Панькин Н.А.

Ассистент кафедры физики твердого тела, к. ф.-м. н.

Мордовский государственный университет имени Н.П.Огарева, Саранск, Россия

E-mail: panjkinna@yandex.ru

Важными параметрами, характеризующими процесс модификации поверхности ионными потоками, являются коэффициенты распыления материала мишени и отражения падающих ионов. Знание их значений позволяет получить более точные представления о механизмах взаимодействия ионов с поверхностью твердого тела. При этом, в большинстве случаев их экспериментальное определение для области малых энергий ионов (до нескольких сот эВ) крайне затруднительно. Разработанные на данный момент теории, также недостаточно хорошо описывают поведение коэффициентов распыления и отражения для ионов с энергией меньше 1 кэВ.

Целью настоящей работы являлось компьютерное моделирование, в рамках метода молекулярной динамики, бомбардировки поверхности железной поликристаллической мишени ионами титана с энергией 100-500 эВ при нормальном падении на мишень. Рассмотрен случай, когда поток бомбардирующих ионов был моноэнергетическим.

Мишень представляла собой прямоугольный блок из 800 атомов. Её температура составляла 300 К и задавалась через среднеквадратичные смещения атомов из положения равновесия. Поликристаллическое строение моделировалось поворотом рассматриваемой ячейки на случайно выбранный угол для каждого бомбардирующего её поверхность иона. Ион-атомное взаимодействие описывали с помощью потенциала Циглера-Бирзака-Литтмарка, а между атомами материала мишени - парной функцией Морзе. Неупругие потери энергии ионов при их пробеге в материале мишени не учитывались. Моделируемая мишень находится при температуре ниже точки Кюри для железа. Поэтому в потенциал взаимодействия добавлялось притяжение, вызванное параллельно направленными спинами. Полученные результаты усреднялись после рассмотрения порядка 50000 ионов. Углы рассеяния и распыления отсчитывались от нормали к поверхности мишени.

По мере увеличения энергии бомбардирующих ионов наблюдается рост коэффициента распыления. Одновременно с этим отмечается уменьшение доли ионов, отраженных от поверхности мишени. Это связано с тем, что ион имеет энергию в несколько раз превышающую энергию связи между атомами материала мишени (4.28 эВ), что позволяет ему (в результате упругих соударений) передать значительному числу атомов энергию, необходимую для разрыва связи с его ближайшим окружением на поверхности. Кроме того, по мере увеличения энергии бомбардирующих частиц, возрастает средняя глубина проникновения ионов от -0.2 (знак минус указывает на то, что ионы не проникали в глубь мишени) до 1 нм и она не превышает нескольких периодов кристаллической решетки железа (2.8 Å). При этом, незначительная часть ионов проникает на глубину порядка нескольких десятков ангстрем.

Кроме того, при увеличении энергии в исследуемом диапазоне наблюдается смещение максимума энергетического распределения рассеянных ионов в сторону больших значений E/E_0 ($E_0=500$ эВ). Угловое распределение, при этом, остается неизменным. Большие значения угла вылета отраженных ионов соответствуют малой глубине их проникновения в мишень и при углах более 50° ионы отражаются, в основном, лишь от первого атомного слоя. В энергетическом распределении распыленных атомов мишени наблюдается

постепенный сдвиг в сторону большей энергии по мере увеличения скорости бомбардирующих частиц.

Полученные результаты можно использовать для оптимизации процессов конденсации и детального рассмотрения механизмов роста покрытий на основе титана.

О некоторых аспектах математического моделирования зависимости интенсивности катодоллюминесцентного излучения от энергии электронов пучка в однородных полупроводниковых материалах⁹

Поляков А.Н.

Аспирант

*Калужский государственный педагогический университет им. К.Э. Циолковского,
Калуга, Россия*

E-mail: andrei-polyakov@mail.ru

При взаимодействии электронного зонда с полупроводниковой мишенью возникает катодоллюминесцентное (КЛ) излучение, которое может быть использовано для идентификации некоторых электрофизических параметров полупроводника [1]. Интенсивность КЛ исследуемого образца может быть определена суммированием вкладов излучения, генерированного в каждом из микрообъемов материала, что позволяет использовать этот метод для диагностики полупроводниковых микро- и наноструктур [2]. Математически это выражается в том, что сначала решается уравнение диффузии для каждого из точечных источников неосновных носителей заряда (ННЗ) [3], после чего посредством интегрирования по объему, занимаемому источником носителей, находится распределение ННЗ в полупроводнике в результате их диффузии. В случае широкого электронного пучка искомое значение интенсивности КЛ вычисляют интегрированием полученного выражения по глубине проникновения электронов в материал [4].

Для решения задачи идентификации параметров полупроводникового материала может быть использован конфлюэнтный анализ [5]. Это итеративный вычислительный метод, позволяющий получать несмещенные оценки параметров функциональных зависимостей с учетом погрешностей как в значении функции, так и в значении ее аргументов [6]. Ранее было показано, что при реализации конфлюэнтного анализа численное интегрирование решения уравнения диффузии, полученного в [3], занимает значительное время, а точность решения задачи идентификации существенно зависит от выбора начального приближения для искомых величин [7]. Поэтому в продолжение этих работ рассматривались некоторые вопросы оптимизации процесса вычислений интенсивности КЛ для эффективной обработки результатов эксперимента в катодоллюминесцентной микроскопии. Для решения поставленной задачи было предложено аппроксимировать решение уравнения диффузии степенными рядами, а затем провести интегрирование полученного приближения аналитически. В данной работе представлены результаты математического моделирования полученной зависимости интенсивности КЛ от энергии электронов зонда. При расчетах были использованы параметры материалов, характерные для полупроводников групп A^3B^5 и A^2B^6 . Проведено сравнение полученных результатов с результатами численного интегрирования, определены некоторые границы применимости полученной модели.

Литература

1. Петров В.И. // УФН. 1996. Т.166. Вып.8. С. 859.
2. Van Roosbroeck W. // J. Appl. Phys. 1955. V. 26. № 1. P. 380-387.
3. Белов А.А., Петров В.И., Степович М.А. // Изв. РАН. Серия физическая. 2002. Т. 66. № 9. С. 1317-1322.
4. Михеев Н.Н., Петров В.И., Степович М.А. // Изв. РАН. Сер. физ. 1992. Т.56. №3. С.176.

⁹ Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Калужской области (грант № 09-02-99027).

5. Гагарин Ю.Е., Петров В.И., Степович М.А. // Изв. РАН. Серия физическая. 2004. Т. 68. № 9. С. 1338-1341.
6. Грешилов А.А. Анализ и синтез стохастических систем. Параметрические модели и конфлюентный анализ. М.: Радио и связь, 1990.
7. Гагарин Ю.Е., Михеев Н.Н., Поляков А.Н., Степович М.А. // Поверхность, Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2008. № 9. С. 35-41.

Моделирование многофазного потока в горизонтальных нефтяных скважинах

Семенов А. А.

*Главный специалист службы разработки месторождений
ЗАО «Ванкорнефть», Красноярск, Россия*

E-mail: andrey.a.semenov@gmail.com

Численное моделирование нефтяных скважин на данный момент является основным методом определения потенциальных характеристик работы скважин при изменении управляющих параметров системы. Типичные математические модели включают в себя: уравнение фильтрации в пористой среде, уравнение потока в скважине, а также характеристики дополнительных элементов (штуцер, насос и т.д.). Решением данных уравнений является поле давлений и скоростей флюида в скважине. Основными сложностями выступают: написание и решение уравнений для движения 3-х фаз (газа, нефти и воды) в пласте и скважине, учет изменения физико-химических свойств скважинного флюида с изменением условий течения, а также определение отклика системы при введении в нее новых элементов.

Для разработки Ванкорского месторождения используются инновационные в России горизонтальные скважины с установкой в них устройств для пассивного контроля притока. Существует два основных подхода для прогнозирования поведения таких систем: гидродинамические симуляторы (Eclipse) и программы для дизайна системы заканчивания (NetTool [1]). Гидродинамические симуляторы позволяют строить долгосрочные прогнозы, однако являются слишком грубыми для описания поведения месторождения в масштабе отдельной скважины. В существующих же программах для выбора заканчивания не реализованы современные подходы к расчету многофазного потока и они не позволяют адаптировать модели к результатам реальных замеров потока и давления.

В данной работе предлагается математическая модель системы пласт-устройство контроля притока-горизонтальная скважина-штуцер. Для расчета притока к горизонтальной скважине используется модель Озкана-Рагхавана [2]. Многофазный поток рассчитывается как с использованием корреляционного подхода [3], так и с использованием физических моделей разных режимов течения [4,5]. Для учета изменения физико-химических свойств флюида с глубиной предлагается использовать наборы корреляций, которые показывают наименьшую ошибку по сравнению с композиционной моделью. Принципиально новым в данной работе является расчет перепада давления на устройствах для пассивного контроля притока (спирального и штуцерирующего типа) в условиях многофазного потока.

Построенная модель позволяет прогнозировать характеристики работы горизонтальной скважины на основе характеристик пласта, физико-химических свойств флюида и конструкции скважины. Модель реализована в виде VBA-приложения. В качестве внешнего дополнения к модели предлагается использовать как данные поверхностных замеров, так и профили притока в горизонтальном стволе, полученные с помощью многофазного расходомера. Проведение таких испытаний в реальных скважинах позволило оптимизировать сложность модели.

Литература

1. *Ouyang L-B.* Uncertainty Assessment on Well-Performance Prediction for an Oil Producer Equipped With Selected Completions // Paper SPE 106966, 2007.
2. *Ozkan E., Raghavan R.* Performance of Horizontal Wells Subject to Bottomwater Drive // SPE Reservoir Engineering. –1990. –August. –P. 375-383.
3. *Beggs H.D., Brill J.P.* A Study of Two-Phase Flow in Inclined Pipes // JPT. –1973. –V.5. – P.607-617.
4. *Ansari A.M., Sylvester N.D., Sarica C., Shoham O., Brill J.P.* A Comprehensive Mechanistic Model for Upward Two-Phase Flow in Wellbores // SPE Production and Facilities. –1994. –May. –P. 143-152.
5. *Zhang H-Q., Wang Q., Sarica C., Brill J.P.* Unified Model for Gas-Liquid Pipe Flow via Slug Dynamics –Part 1: Model Development // Journal of Energy Resources Technology. –2003. – V.125.– P.266-273.

Анализ статистической модели изображения при оценке его качества

Соловьев Владимир Евгеньевич

Аспирант

Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова,

физический факультет, Ярославль, Россия

E-mail: soloviev@piclab.ru

Исторически сложилось так, что объективные методы для оценки качества сжатых изображений основывались на простых математических выражениях, таких как среднеквадратичная ошибка и пиковое отношение сигнал/шум. Относительно недавно были предложены более сложные в вычислении алгоритмы – универсальный индекс качества и коэффициент структурного подобия, которые в ряде приложений показывают хорошую согласованность с субъективными экспертными оценками. Используемые сегодня метрики имеют один существенный недостаток – они требуют наличия изображения-оригинала (эталона), необходимого для проведения оценки. Однако на практике инженерам в подавляющем большинстве случаев приходится сталкиваться с ситуацией, когда эталонное изображение недоступно. В этом случае возникает необходимость в создании неэталонных критериев, способных оценивать качество изображения «вслепую». В данной работе рассматривается применение статистической модели изображения (СМИ) для создания алгоритмов оценки качества изображений без использования эталона.

Поскольку в последнее время в задачах сжатия изображений все чаще используются вейвлет-преобразования, мы будем рассматривать СМИ в вейвлет области [1]. Данная модель отображает статистические взаимозависимости вейвлет-коэффициентов изображений в каждом поддиапазоне вейвлет-разложения и их корреляцию с другими вейвлет-коэффициентами аналогичных поддиапазонов в последующих уровнях разложения. Она подходит для измерения эффекта квантования вейвлет-коэффициентов изображений, так как квантование зануляет маленькие по величине коэффициенты. Результатом этого процесса является увеличение вероятности нахождения нулевых коэффициентов, в сравнении с ожидаемой вероятностью для обычных изображений.

Статистическая модель, предложенная в [1] и [2], моделирует величину вейвлет-коэффициента $C = MP + N$, определяемого величиной линейного предсказателя

коэффициента $P = \sum_{i=1}^n l_i C_i$. Здесь M и N – независимые случайные переменные с нулевым

средним, C_i – n соседних с C коэффициентов в пространстве, направлении и иерархии и l_i – коэффициенты линейного предсказателя.

Мы предлагаем использовать упрощенную модель двух состояний изображения в вейвлет-области. Эти два состояния соответствуют тому, значителен или незначителен коэффициент или его предсказатель. Коэффициент или его предсказатель считаются значительными, если их значения превышают порог, определяемый для каждого типа изображений. Совместная модель двух состояний обусловлена тем, что в результате процесса квантования в JPEG2000, который проявляется во всех поддиапазонах, большое количество значений P и C являются менее значительными, чем ожидалось для естественных (без сжатия) изображений. Следовательно, хорошим показателем отклонения изображения от оригинала и наличия визуальных эффектов квантования является малая пропорция значительных P и C .

Литература

1. Buccigrossi R.W., Simoncelli E.P. Image Compression via Joint Statistical Characterization in the Wavelet Domain // IEEE Trans. Image Process., Dec. 1999. V. 8, №12, P. 1688-1701.
2. Simoncelli E.P. Statistical models for images: Compression, restoration and synthesis // IEEE Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers, Nov. 1997. V.1, P. 673-678.

Математическое моделирование зеркала коллиматора

Фёдоров Д.О. Хлебников Ф.Б.

Студенты

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,

физический факультет, Москва, Россия

E-mail: iwaagh@gmail.com

Одна из важных практических задач электродинамики – получение плоской электромагнитной волны. Для этой цели часто используются параболические зеркала, отражающие сферические волны. В реальных экспериментах отражатели большого размера делают составными из нескольких отражающих пластин, так как изготовить зеркало параболической формы с достаточной степенью точности и одновременно больших размеров технически сложно.

При сборке зеркала из элементов меньшего размера, возникает дополнительная погрешность, связанная с неточной установкой пластин друг относительно друга. Отклонения могут иметь различный характер: возможен как сдвиг одного или нескольких зеркал друг относительно друга, так и поворот некоторых зеркал относительно остальных. Возникающее в результате этих отклонений искажение поля рассчитывается следующим образом.

Рассматривается поверхность пластины коллиматора, на которую падает плоская волна под углом φ . Пусть P – плоскость зеркала, R – плоскость, на которой измеряется поле, z – расстояние между этими плоскостями. Тогда поле в каждой точке плоскости R выражается при помощи интеграла Кирхгофа:

$$E_y(x, y, z_R) = \frac{ik}{4\pi} \iint_P \left[E(x, y, z_p) e^{-ikz} \left(1 + \frac{z_p - z}{r} \right) \left(\frac{e^{-ikr}}{r} \right) \right] dx dy,$$

где k – волновое число, z_p и z_R – координаты точек пересечения плоскостей P и R с осью z .

$$r = \sqrt{(x_p - x)^2 + (y_p - y)^2 + (z_p - z)^2},$$

(x_p, y_p, z_p) – координаты точки наблюдения на плоскости P .

На основе этого подхода строится математическая модель отражателя в приближении плоского зеркала коллиматора. С помощью этой модели рассчитываются

параметры отраженных волн при различных неточностях установки пластин. Задача имеет важное практическое применение, так как подобные зеркала активно используются в экспериментах для получения плоских волн, например, в безэховых камерах.

Литература

1. Балабуха Н.П. Компактные полигоны для измерения характеристик рассеяния объектов и параметров антенн /Н.П. Балабуха, А.С. Зубов, В.С. Солосин; Под общ. ред. Н.П. Балабухи; Ин-т теорет. и прикл. электродинамики Объедин. ин-та высоких температур. – М.: Наука, 2003.
2. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Высшая школа, 1992.

Расчетные модели и эксперименты взаимодействия рэлеевских волн с компактными заглабленными неоднородностями.

Цуканов А.А.¹, Горбатилов А.В.²

¹*аспирант*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия*

E-mail: halux@mail.ru

²*Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва, Россия*

Волна Рэлея является, так называемой, поверхностной волной, распространяющейся вдоль свободной границы твердого тела. Упругие возмущения и энергия такой волны локализованы в тонком приповерхностном слое сравнимом по толщине с длиной волны [1].

Амплитуда колебаний точек поверхности в случае плоской рэлеевской волны, распространяющейся по границе однородной среды без затухания, одинакова во всех точках поверхности. В случае неоднородной среды поле амплитуд может иметь сложную структуру. Рэлеевские волны различной частоты имеют различную глубину проникновения, таким образом, взаимодействие с заглабленной неоднородностью будет определяться соотношением между глубиной залегания неоднородности и длиной облучающей волны. В результате взаимодействия широкополосного пакета волн Рэлея с заглабленными неоднородностями спектр сигнала, регистрируемого на поверхности, различен в разных точках, и в ряде случаев можно говорить о возможности решения обратной задачи.

Целью данной работы является выявление закономерностей влияния свойств компактных заглабленных неоднородностей на спектр вертикальных колебаний точек поверхности.

Была построена численная модель в рамках линейной теории упругости [2] с применением метода конечных разностей. Для решения была реализована на языке Си++ неявная безусловно устойчивая [3] схема с параллельным алгоритмом LUP-разложения [4] разреженных матриц.

Был проведен ряд компьютерных экспериментов по взаимодействию фундаментальной моды волны Рэлея с заглабленными неоднородностями. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными исследованиями [5] и [6]. При определенных условиях удается локализовать компактную неоднородность и оценить ее упругие свойства.

Литература

1. Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М.: Наука, 1966.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том VII. Теория упругости. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
3. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука, 1978.
4. <http://parallel.ru/info/parallel/> (*Библиотека учебных материалов Parallel.ru*).

5. Горбатиков А.В., Степанова М.Ю. Результаты исследований статистических характеристик и свойств стационарности низкочастотных микросейсмических сигналов. ФИЗИКА ЗЕМЛИ, 2008, №1, с. 57-67.
6. Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм. ФИЗИКА ЗЕМЛИ, 2008, №7, с. 66-84.

Математическая модель электродиффузии ионов около ионоселективной мембраны

Чопция Анна Степановна¹⁰

Аспирантка

Старооскольский технологический институт (филиал) Государственного технологического университета «Московский институт стали и сплавов», факультет автоматизации и информационных технологий, Старый Оскол, Россия

E-mail: channst_18@mail.ru

Рассматривается математическая модель стационарного электродиффузионного переноса бинарного раствора электролита около ионоселективной мембраны с учетом объемного электрического заряда, образующегося вблизи границы раздела фаз электролит/мембрана.

При построении модели использовались законы баланса массы для многокомпонентной среды, уравнение Нернста-Планка для плотности потока электрически заряженных компонентов и уравнение Пуассона для электрического потенциала [1].

В безразмерных переменных математическая модель имеет следующий вид [1,2]:

$$\frac{dp}{dX} = -\eta z_1 p \frac{d\Phi}{dX} - \alpha_p J, \quad \frac{dn}{dX} = -\eta z_2 n \frac{d\Phi}{dX} + \alpha_n J, \quad (1)$$

$$\mu^2 \frac{d^2\Phi}{dX^2} = -p + n.$$

$$\begin{aligned} X = 0: \quad p(0) = 1, \quad n(0) = 1, \quad \Phi(0) = 0; \\ X = 1: \quad \Phi(1) = -1. \end{aligned} \quad (2)$$

где X - пространственная координата; $p = p(X)$, $n = n(X)$, $\Phi = \Phi(X)$ - неизвестные функции распределения концентраций заряженных компонентов и электрического потенциала; J - неизвестная величина плотности тока; η - безразмерный параметр; μ^2 - малый параметр.

Двухточечная краевая задача (1) – (2) содержит два параметра. Параметр η в общем случае может быть малым, большим, а также величиной порядка единицы. Методом пограничных функций А.Б. Васильевой [3] найдено приближенное аналитическое решение сингулярно возмущенной краевой задачи (1) – (2) для случая $\eta \sim 1$, изложенное в [2]. На основании найденного решения установлены некоторые закономерности и особенности мембранного процесса разделения. В частности, показано, что максимальные значения заряда и напряженности электрического поля в рассматриваемом случае достигаются на поверхности мембраны, а концентрационные профили для разных сортов ионов имеют качественно различный характер.

Литература

1. Заболоцкий В.И., Никоненко В.В. Перенос ионов в мембранах. М.:Наука, 1996. 396 с.
2. Коржов Е.Н., Чопция А.С. Математическое моделирование электродиффузионного процесса переноса около ионоселективной мембраны с учётом объёмного

¹⁰ Автор выражает благодарность научному руководителю к. ф-м. н. Коржову Е.Н.

электрического заряда // Сорбционные и хроматографические процессы, 2007 - Т.7, №5, с.815-823.

3. Васильева А.Б., Бутузов В.Ф. Асимптотические разложения решений сингулярно возмущенных уравнений. – М.: Наука, 1973. 272 с.

Математическое моделирование объёмных резонаторов

Чудакова Е.М. Смоленцев В.А.

Студенты

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия

E-mail:artenik@gmail.com

Объёмные резонаторы широко применяются в технике в качестве колебательных систем генераторов (клистронов, магнетронов и др.) и фильтров, эталонов частоты, измерительных контуров и т.д. Одной из важнейших характеристик резонатора, определяющей технико-экономические показатели устройств и систем, в которых они используются, является его добротность.

Для определения добротности решается задача расчета собственных значений электромагнитного поля в резонаторе. Рассматривается экранированный объёмный резонатор произвольной формы объёма V с площадью поверхности S , заполненный изотропным диэлектриком с потерями, где σ — конечная проводимость, $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$, $\mu = \mu' - j\mu''$ — комплексные диэлектрическая и магнитная проницаемости, не зависящие от частоты. Решается краевая задача для системы уравнений Максвелла с соответствующими граничными условиями.

Добротность реального резонатора выражается через компоненты полей и их производные по частоте на поверхности:

$$Q = \frac{\int_S \mathbf{J}_s^* \cdot \nabla \left(\frac{1}{w} \mathbf{E} \right) dS}{\int_S \sqrt{\frac{w m_0}{2s}} \nabla \left(\mathbf{H}_T \cdot \mathbf{H}^* \right) dS}, \text{ где } \mathbf{J}_s^* - \text{плотность поверхностного тока.}$$

Выражения для полей и токов на поверхности резонатора определяются из решения краевой задачи для идеального резонатора той же формы.

В работе рассчитаны добротности резонаторов, представляющих собой отрезки волноводов прямоугольного и круглого сечения, а также сферического резонатора. Проведено сравнение полученных результатов с добротностью, рассчитанной с помощью программ HFSS и Microwave Studio.

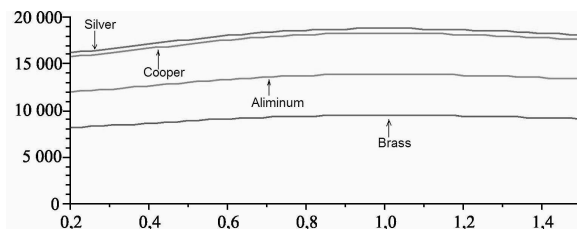


Рис.1 Зависимость добротности отрезка волновода WR430/RG104 от отношения длины к большей стороне сечения $a=0.109\text{м}$

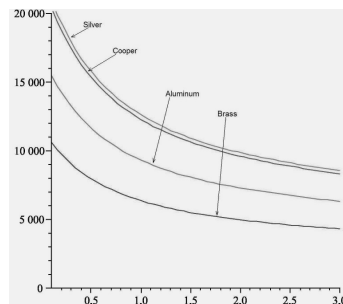


Рис.2 Зависимость добротности отрезка волновода WC150 от отношения длины к радиусу сечения $a=0.01095\text{м}$

Литература:

1. Barry E. Spielman A Field Theoretic Foundation for the Representation of Quality Factor in Terms of Reactance-Slope Parameters for Electrically Large Three-Dimensional Arbitrarily Shaped Resonators // IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 52, NO. 7, JULY 2004.
2. R. F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*. New York: McGraw-Hill, 1961.

Моделирование теплоотдачи газожидкостного потока

Шаймерденова Г.М., Оспанова Д.А., Ыдырыс А.К.

Старший преподаватель, преподаватель, студент физического факультета
 Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова,
 Караганда, Казахстан
 E-mail: physics@kargu.krg.kz

Моделирование сложного теплообмена в реальных физико-химических процессах или инженерных задачах с целью выявления наиболее оптимальных параметров является актуальным на сегодняшний день. Современный уровень развития вычислительной техники и создание новых пакетов прикладных программ позволяет быстро и с высокой точностью проводить анализ экспериментальных данных. В данной работе для решения подобной задачи используется метод группового учета аргументов (МГУА).

При моделировании использовались значения коэффициента теплоотдачи, экспериментально полученные профессором К. Кусаиновым, для газожидкостного потока с различным объемным газосодержанием β , при течении в вертикальном диффузоре с углом сужения $\alpha = 10^\circ$ при различных числах Рейнольдса. Измерения перепада температур для расчета коэффициента теплоотдачи проводились на разных расстояниях от среза сопла l/d , т.е. на различном удалении от начала течения.

Рассматривались вертикальные сопутствующие потоки газожидкостных сред при пузырьковом режиме, чтобы исключить влияние встречного и поперечного движения пузырьков в потоке. В результате компьютерной обработки получен ряд моделей, из которых выбрана следующая формула:

$$Nu = 1,9 + 0,61 \cdot \left(\frac{l}{d}\right) + 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot \beta - 3,6 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^2 - 3,3 \cdot 10^{-8} \cdot Re^2 \cdot \beta -$$

$$- 3,8 \cdot 10^{-8} \cdot \beta \cdot \left(\frac{l}{d}\right) \cdot \alpha + 9,1 \cdot 10^{-9} \cdot \beta^2 \cdot Re + 1,2 \cdot 10^{-9} \cdot \beta^2 \cdot \left(\frac{l}{d}\right) - 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot \beta^4 \cdot \left(\frac{l}{d}\right) \cdot \alpha \cdot Re$$

где β - концентрация газосодержания, l - расстояние по оси от среза сопла до сечения, м; d - диаметр трубы, м; $Re = (ud/\nu)$ - число Рейнольдса, u - скорость потока; ν - кинематическая вязкость.

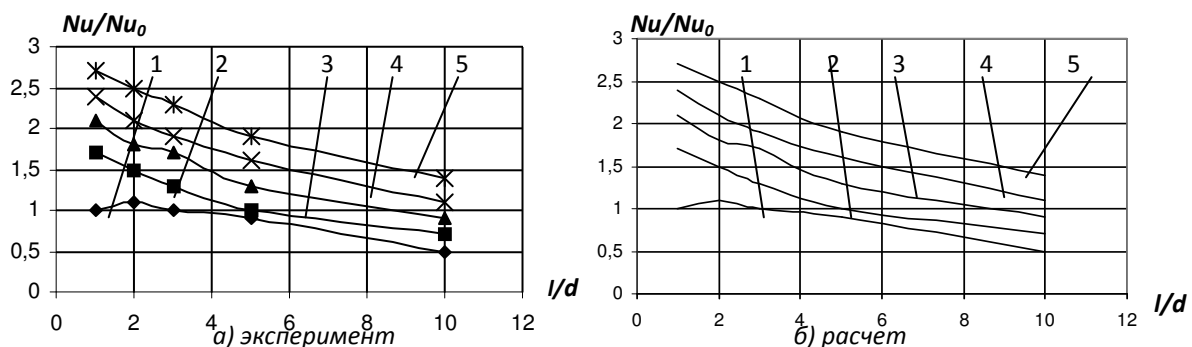


Рисунок 1- Зависимость коэффициента теплоотдачи газожидкостного потока в различных сечениях, при $\beta = 5,0\%$; $Re =$: 1-2500; 2-4150; 3-5700; 4-7300; 5-9330.

Из графиков видно, что добавление газовой фазы ведет к интенсификации теплоотдачи, и поток остывает быстрее. Получены зависимости, по которым можно определить наиболее оптимальные параметры потока, обеспечивающие необходимую теплоотдачу потока с известной степенью газосодержания. Разработанный алгоритм позволяет быстро и с высокой точностью рассчитать режим, обеспечивающий минимальную или максимальную теплоотдачу при заданной скорости потока.