

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ
ЭНЕРГЕТИКА

ЭЭЭ – 2015

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

В трех частях
Часть 2. Секция «ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ»

г. Новосибирск, 9–12 июня 2015 г.

ELECTRICAL ENGINEERING.
ELECTROTECHNOLOGY. ENERGY

EEE – 2015

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
OF YOUNG SCIENTISTS

In 3 Sections
Section 2

Novosibirsk, June 9–12, 2015

НОВОСИБИРСК
2015

УДК 621.3 + 621.365] (063)
Э 455

Организаторы:

Новосибирский государственный технический университет;
Межвузовский центр содействия научной
и инновационной деятельности студентов и молодых ученых
Новосибирской области

Organizers:

Novosibirsk State Technical University;
Interuniversity Centre for the Promotion of research
and innovation activities of students and young scientists
of the Novosibirsk region

Э 455 **Электротехника. Электротехнология. Энергетика:** в 3 ч. :
сборник научных трудов VII Международной научной конфе-
ренции молодых ученых / коллектив авторов. – Новосибирск :
Изд-во НГТУ, 2015.

ISBN 978-5-7782-2663-0

Ч. 2. Секция «Электротехнология» / коллектив авторов. – 119 с.

ISBN 978-5-7782-2665-4 (ч. 2)

Председатель *А.И. Алиферов*

Chairman the Section *A.I. Aliferov*

Секретарь секции *Д.С. Власов*

Secretary of the Section *D.S. Vlasov*

ISBN 978-5-7782-2665-4 (ч. 2)

ISBN 978-5-7782-2663-0

© Коллектив авторов, 2015

© Новосибирский государственный
технический университет, 2015

2. *Rapoport E.Ya.* Optimal Control of Nonlinear Objects of Engineering Thermophysics / E.Ya. Rapoport, Yu.E. Pleshivtseva // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2012. – Vol. 48. – № 5. – P. 429–437.

3. *Плешивцева Ю.Э.* Двумерная задача оптимального по типовым критериям качества управления процессом сквозного индукционного нагрева / Ю.Э. Плешивцева, А.В. Попов, А.И. Дьяконов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2014. – № 2(42). – С. 148–163.

4. *Плешивцева Ю.Э.* Метод последовательной параметризации управляющих воздействий в краевых задачах оптимального управления системами с распределенными параметрами / Ю.Э. Плешивцева // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2009. – № 3. – С. 22–33.

5. *Рапопорт Э.Я.* Алгоритмически точный метод параметрической оптимизации в краевых задачах оптимального управления системами с распределенными параметрами / Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плешивцева // Автометрия. – 2009. – Т. 45. – № 5. – С. 103–112.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ СЛОЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ НАНОЧАСТИЦ

В.А. Потеряева, О.В. Усенко, А.А. Шерстобитов

*Национальный исследовательский Томский
государственный университет, г. Томск, usenko.olesya@yandex.ru*

В настоящей работе выполнено математическое моделирование движения молекул гелия, метана, кислорода и азота через ультратонкий слой пористого материала, составленного сферическими наночастицами разного размера. Потенциал взаимодействия «наночастица – молекула» взят в форме, предложенной В.Я. Рудяком и С.Л. Краснолуцким. Методом классической молекулярной динамики изучена проницаемость слоя, имеющего размер порядка 10^{-7} м.

The present paper deals with mathematical modelling of molecular motion of helium, methane, oxygen and nitrogen molecules through an ultrathin layer of a porous material consisting of spherical nanoparticles of different sizes. The potential of «nanoparticle – molecule» interaction is considered in the form proposed by V.Y. Rudjak and S.L. Krasnolutskiy. Using the method of classical molecular dynamics, permeability of a layer having the size of about 10^{-7} m is studied.

В настоящей работе при определении проницаемости слоя используется следующий подход. Берем параллелепипед с прозрачными основаниями и боковыми гранями, отражающими молекулы по законам

геометрической оптики. Случайным образом заполняем его объем наночастицами разного размера, добиваясь необходимой пористости. При этом всякий раз, когда получаются пересечения шаров, мы ликвидируем их индивидуально способом разнесения центров пересекающихся шаров.

Пористое тело представляется совокупностью сферических наночастиц, для которых имеется потенциал взаимодействия «наночастица – молекула» [1]:

$$\Phi_9^3(\rho_j) = \Phi_9(\rho_j) - \Phi_3(\rho_j). \quad (1)$$

Здесь ρ_j – расстояние от j -й частицы пористой структуры до пробной молекулы. Потенциал (1) получен интегрированием парного потенциала Ленарда–Джонса по объему наночастицы.

Значения констант взаимодействия ε и σ , входящих в потенциал Леннарда–Джонса, для некоторых пар веществ приведены в таблице.

Взаимодействующие молекулы	Относительная глубина потенциальной ямы	Радиус влияния потенциала взаимодействия
C – C	$\varepsilon/k = 51,2$ К	$\sigma' = 0,335$ нм
He – He	$\varepsilon/k = 5,5$ К	$\sigma' = 0,228$ нм
CH ₄ – CH ₄	$\varepsilon/k = 146,7$ К	$\sigma' = 0,386$ нм
O ₂ – O ₂	$\varepsilon/k = 116,8$ К	$\sigma' = 0,354$ нм
N ₂ – N ₂	$\varepsilon/k = 95,3$ К	$\sigma' = 0,377$ нм

В таблице k – постоянная Больцмана.

Если исследуемая система состоит из разнородных молекул (атомов), то для параметров ε и σ справедливы следующие правила усреднения Лорентца–Бертло (Lorentz–Berthelot mixing rule):

$$\sigma' = \sigma_{12} = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{12}}{2}, \quad \varepsilon_{12} = \sqrt{\varepsilon_{11}\varepsilon_{22}}. \quad (2)$$

В настоящей работе в качестве пористого элемента рассматривается система из трех фракций углеродных наночастиц размера 60, 30 и 16 нм, случайным образом заполняющих объем 0,011 мкм³.

Начало координат помещаем в центр рассматриваемого объема, при этом пробные молекулы начинают движение в сторону положительного направления оси Oz. Проницаемые грани параллелепипеда расположены перпендикулярно оси Oz. Таким образом, после стоха-

стического заселения рассматриваемого объема наночастицами известны x_j^0 , y_j^0 , z_j^0 ($j = \overline{1, N_p}$) – координаты центров наночастиц, входящие в правые части скалярных уравнений:

$$\frac{dU}{dt} = \sum_{j=1}^{N_p} a_j \frac{x - x_j^0}{\rho_j}, \quad \frac{dV}{dt} = \sum_{j=1}^{N_p} a_j \frac{y - y_j^0}{\rho_j}, \quad \frac{dW}{dt} = \sum_{j=1}^{N_p} a_j \frac{z - z_j^0}{\rho_j}, \quad (3)$$

где a_j – величина ускорения, которое приобретает пробная молекула под действием j -й частицы системы.

Уравнения (3) интегрируются численно с использованием схемы Рунге–Кутты четвертого порядка точности [2]. При этом на каждом шаге по времени ($\Delta t = 10^{-5}$ нс) и даже в каждой точке пересчета внутри этого шага требуется знать расстояние от центра пробной молекулы до центра отдельной наночастицы, которое определяется обычным образом:

$$\rho_j = \sqrt{(x - x_j^0)^2 + (y - y_j^0)^2 + (z - z_j^0)^2}, \quad (4)$$

где x , y , z – координаты перемещающейся молекулы.

Все другие проблемы применения классической молекулярной динамики разрешаются на основе работ [3–7].

Была проведена серия молекулярно-баллистических испытаний для молекул гелия, взаимодействующих с наночастицами пористого элемента. Таким образом, расчетами установлено, что гелий проходит примерно в два раза лучше всех других компонент. Этот результат подтверждается экспериментами В.И. Романдина, полученными для различных образцов нанопористой керамики.

Работа выполнена в рамках Программы повышения конкурентоспособности Томского государственного университета и при поддержке гранта РФФИ № 14-01-31365.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rudiyak V.Y.* The calculation and measurements of nanoparticles diffusion coefficient in rarefied gases / V.Y. Rudiyak, S.L. Krasnolutskii // *J. Aerosol Science.* – 2003. – Vol. 34, suppl. 1. – P. 579–580.
2. *Ortega J.* Scientific computing and computer science / J. Ortega. – New York: Academic Press, 1976. – 340 с.
3. *Potekaev A.I.* New physical ideas and method of description and Calculation of resistance to motion of small Particles in a gaseous medium / A.I. Po-

tekaev, A.M. Bubenchikov, M.A. Bubenchikov // Russian physics journal. – 2013. – Vol. 55. – № 12. – P. 1434–1443.

4. *Bubenchikov M.A.* Three fundamental problems of molecular Statistics / M.A. Bubenchikov, A.I. Potekaev, A.M. Bubenchikov // Russian physics journal. – 2013. – Vol. 56. – № 3. – P. 341–348.

5. *Bubenchikov M.A.* Thermophoresis of ultrafine and nanosized Particles / M.A. Bubenchikov, A.I. Potekaev, A.M. Bubenchikov // Russian physics journal. – 2013. – Vol. 56. – № 7. – P. 785–790.

6. *Bubenchikov M.A.* A scheme for hydrogen evolution from natural gas / M.A. Bubenchikov, A.I. Potekaev, A.M. Bubenchikov // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 698. – P. 525–528.

7. *Bubenchikov M.A., Potekaev A.I., Bubenchikov A.M.* Migration of nanoparticles in operating media of heat exchange systems / M.A. Bubenchikov, A.I. Potekaev, A.M. Bubenchikov // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 698. – P. 627–630.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ «МГД-ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЬ – ВАННА С РАСПЛАВОМ»

В.Н. Тимофеев¹, М.Ю. Хацаюк¹, А.И. Алиферов²

¹*Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, viktortim0807@mail.ru*

²*Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск*

В данной работе аналитическим методом проведен анализ электромагнитного поля в системе индуктор–ванна с расплавом (жидкий металл) при различных обмоточных характеристиках индуктора, определены интегральные и дифференциальные характеристики системы для наиболее распространенных обмоток индукторов МГД-перемешивателя.

In this paper, an analytical method analysis of the electromagnetic field in the inductor-bath melt (liquid metal) for various characteristics of the inductor winding, identified integral and differential characteristics of the system for the most common winding inductors MHD stirrer.

В процессе приготовления многокомпонентных сплавов важной технологической операцией является перемешивание расплава с целью выравнивания химического состава и температуры во всем объеме