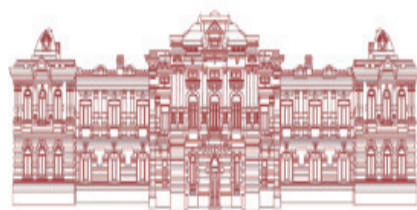
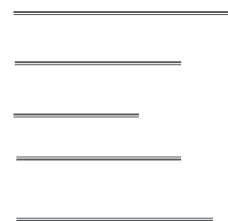


Ученые записки



Забайкальского государственного университета

С е р и я «Физика, математика, техника, технология»



№ 3 (56)
2014

ISSN 2308-8761

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

Забайкальского
государственного
университета



Серия

«Физика, математика, техника,
технология»

Научный журнал
Основан в 1957 г.
Выходит шесть раз в год

Учредитель

ФГБОУ ВПО
«Забайкальский государственный университет»

Журнал зарегистрирован

Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС77–54257 от 24.05.2013

Журнал входит

в Перечень ведущих рецензируемых научных
журналов и изданий, в которых должны быть
опубликованы основные научные результаты
диссертаций на соискание учёных степеней
доктора и кандидата наук

Авторы несут полную ответственность
за подбор и изложение фактов, содержащихся
в статьях; высказываемые взгляды
могут не отражать точку зрения редакции

Перепечатка материалов журнала допускается
только по согласованию с редакцией

Рукописи, присланные в журнал,
не возвращаются

Адрес редакции:

672007, г. Чита, ул. Бабушкина, 129
Телефон: 8 (3022) 35-24-79,
факс: 8 (3022) 41-64-44.
E-mail: gumvector@zabspu.ru

Сайт журнала в Интернете

<http://www.uchzap.com>

Подписной индекс журнала
в «Пресса России» **42408**

Электронная версия журнала
Размещена на платформе
Российской универсальной
научной электронной библиотеки:
www.elibrary.ru

© Забайкальский государственный
университет, 2014

SCHOLARLY NOTES Of Transbaikal State University

Series

Physics, Mathematics, Engineering, Technology

UCHENYE ZAPISKI Zabaikal'skogo

Gosudarstvennogo Universiteta
Seriya

Fizika, Matematika, Tehnika, Tehnologiya

Scientific Journal
Founded in 1957 г.
Published six times per year

Founder

FSBEI HPE
“Zabaikalsky State University”

The journal is registered

by the Federal Supervision Service in the Field
of Communications, Information Technology
and Mass Communications (Roskomnadzor)

Registration certificate

ПИ № ФС77–54257 от 24.05.2013

The journal

is in the List of the leading refereed
scientific journals
and editions which publish the main results
of dissertations for academic degrees
of doctors and candidates of sciences

The authors are fully responsible for the selec-
tion and presentation of the facts contained in their
articles; the views expressed by them do not neces-
sarily reflect the views of the editorial board

Reproduction of any materials from the journal
is allowed only in coordination
with the editorial board

The manuscripts submitted to the journal
are not returned

Address:

672007, Chita, 129 Babushkin St.
Phone: 8 (3022) 35-24-79,
Fax: 8 (3022) 41-64-44.
E-mail: gumvector@zabspu.ru

Journal web site

<http://www.uchzap.com>

Subscription index

of the journal in “Press of Russia” **42408**

The electronic version of the journal
is placed on the platform
of the Russian Universal
Scientific Electronic Library:
www.elibrary.ru

© Zabaikalsky State University, 2014

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

Забайкальского
государственного
университета



Серия

«Физика, математика, техника,
технология»

Редакционный совет

Борис Ванданович Базаров, д-р ист. наук, проф., член-кор. РАН, Институт монголоведения, буддологии и тибетологии СО РАН (Улан-Удэ, Россия); **Андре Буржо**, д-р социал. наук, акад., Национальный центр научных исследований Франции (Париж, Франция); **Дэн Цзюнь**, проф., Институт русского языка Хэйлуцзянского университета (Хэйлуцзян, КНР); **Кейдзи Идэ**, заместитель главы миссии, министр Посольства Японии в Российской Федерации (Япония); **Чжен Шупу**, д-р филол. наук, проф. (Харбин, КНР); **Михаил Иванович Эпов**, д-р техн. наук, проф., акад. РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (Новосибирск, Россия)

Редакционная коллегия

Выпускающий редактор:

С. Е. Холодовский, доктор физико-математических наук, профессор (Чита, Россия);

С. Ф. Забелин, доктор технических наук, профессор (Чита, Россия)

Члены редколлегии:

В. Е. Архинчев, доктор физико-математических наук, профессор (Улан-Удэ, Россия);

В. В. Мазалов, доктор физико-математических наук, профессор (Петрозаводск, Россия);

В. А. Ильин, доктор физико-математических наук, профессор (Москва, Россия)

Главный редактор

И. В. Ерофеева, д-р филол. наук, доцент

Ответственный секретарь

Е. В. Седина, канд. культурологии

Журнал представляет собой сборник оригинальных и обзорных научных статей, посвящённых аналитическому решению задач математической физики в областях, содержащих плёночные включения и плёночные покрытия, математической теории игр, построению математических моделей кристаллических решёток; работы по экспериментальной физике: исследованию ледяных покровов, твёрдых растворов и др., а также работы по различным инженерным технологиям (термическая обработка металлов) и работы по информатике.

Материалы журнала будут интересны широкой научной общественности, преподавателям вузов, аспирантам, студентам, деятелям культуры и образования.

SCHOLARLY NOTES Of Transbaikal State University

Series

Physics, Mathematics, Engineering, Technology

UCHENYE ZAPISKI Zabaikal'skogo

Gosudarstvennogo Universiteta

Seriya

Fizika, Matematika, Tehnika, Tehnologiya

Editors

Boris Vandanovich Bazarov, Doctor of History, Professor, corresponding member of the RAS, The Institute of Mongolian, Buddhist and Tibetan Studies SB of the RAS (Ulan-Ude, Russia); **Andre Bourget**, Doctor of Sociology, Academician, French National Center for Scientific Research (Paris, France); **Den Tszun**, professor, the Institute of the Russian language at Heilongjiang University (Heilongjiang, China); **Keidzy Ide**, Mission Deputy Head, Ministry of Embassy of Japan in the Russian Federation (Japan); **Zhen Chupu**, Doctor of Philology, Professor (Harbin, China); **Mikhail Ivanovich Epov**, Doctor of Engineering Science, professor, Academician of the RAS, Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS (Novosibirsk, Russia)

Editorial Board

Main Handling Editors:

S. E. Kholodovsky, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (Chita, Russia);

S. F. Zabelin, Doctor of Engineering, Professor (Chita, Russia)

Editorial board members:

V. E. Arkhincheev, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (Ulan-Ude, Russia);

V. V. Mazalov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (Petrozavodsk, Russia);

V. A. Ilyin, Doctor of Physics and Mathematics, Professor (Moscow, Russia)

Editor-in-chief

I. V. Erofeeva, Doctor of Philology, Associate Professor

Executive Secretary

E. V. Sedina, Candidate of Culturology

The journal is a collection of original and review scientific papers on analytical solution of mathematical physics problems in the field, containing film incls and film coating, mathematical theory of game, construction of crystal lattices' mathematical models, work on experimental physics: the study of ice sheets, solid solutions etc., as well as work on various engineering technologies (metal heat treatment) and on computer studies.

Materials will be interesting to the wide scientific community, university professors, postgraduate students, students, workers in culture and education.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Вийтович О. И.</i> Коэффициент эксплуатационной надёжности как показатель эффективности ветроустановок на стадии проектирования.....	6
<i>Галахов А. В., Зеленский В. А., Забелин С. Ф.</i> Корундовая керамика из порошков, полученных из аморфного алюмогеля	15
<i>Гордеев Р. Н.</i> Применение метода анализа однородности для визуализации и анализа гетерогенных данных	20
<i>Заярный А. А.</i> Диверсификация технологии производства сухих смесей на основе высококачественных цементов	29
<i>Звягинцев Н. В., Гордеев Р. Н.</i> Архитектура распределённой программной среды для теоретического исследования химических систем.....	36
<i>Зеленский В. А., Забелин С. Ф.</i> Совершенствование технологии синтеза нанопорошков серебра.....	42
<i>Калашников И. Е., Болотова Л. К., Кобелева Л. И., Подымова Н. Б., Карabutov А. А.</i> Применение лазерного оптико-акустического метода для определения упругих модулей металлматричных композиционных материалов, модифицированных тугоплавкими наночастицами.....	52
<i>Крылов С. Д.</i> Изучение состояния переохлаждённой воды в порах силикатных материалов методом низкочастотных шумов.....	61
<i>Кузнецова Н. В.</i> О решении задачи Дирихле в кусочно-однородной полосе с двухслойным плёночным включением.....	65
<i>Лужьянов П. Ю., Петров О. И., Гурулёв А. А., Орлов А. О.</i> Сезонные изменения гидрофизических параметров оз. Доронинское.....	69
<i>Мачихина И. О., Холодовский В. Е.</i> Динамические и испускательные характеристики внутриаомных диполей металлов в модели Ван-дер-Ваальсовских взаимодействий.....	74
<i>Панина Т. Ю.</i> Использование комплексной оценки при определении экономической эффективности разработки россыпных месторождений	84
<i>Степанов Н. П., Трубицына Е. Н.</i> Температурные зависимости спектров плазменного отражения кристалла $Vi_{0,6}Sb_{1,4}Te_3$ в диапазоне температур 78 К – 292 К	90
<i>Толпаев В. А., Гоголева С. А.</i> Математические модели для обработки данных газогидродинамических исследований скважин	95
<i>Холодовский С. Е., Ефимова И. А.</i> Об оптимальном расположении дренажа под бетонной плотиной с эллиптическим флотбетом.....	100
<i>Холодовский С. Е.</i> О решении краевых задач для уравнения Пуассона в плоских областях, ограниченных сильно- и слабопроницаемыми плёнками, соединёнными последовательно	104
<i>Цынгугев Б. Т.</i> Задачи формирования команды на основе онтологической модели компетенции	110

ПОЛЕМИКА. ЛЮДИ. СОБЫТИЯ

<i>Бордонская Л. А.</i> Физика и культура.....	117
<i>Серебрякова С. С.</i> Галилео Галилей: истина сквозь линзы телескопа (к 450-летию со дня рождения учёного и 405-летию начала эры телескопической астрономии).....	132

CONTENTS

<i>Viytovich O. I.</i> Operational Reliability Coefficient as an Indicator of the Effectiveness of Wind Turbines at the Design Stage	6
<i>Galakhov A. V., Zelensky V. A., Zabelin S. F.</i> Corundum ceramics from the powders received from amorphous alumogel	15
<i>Gordeev R. N.</i> Application of the Homogeneity Analysis for the Visualization and Analysis of Heterogeneous Data	20
<i>Zayarny A. A.</i> Diversification of Dry Mixtures Manufacturing Based on High-Quality Cement	29
<i>Zvyagintsev N. V., Gordeev R. N.</i> Architecture of Distributed Software Environment for Theoretical Studies of Chemical Systems	36
<i>Zelensky V. A., Zabelin S. F.</i> Improvement of Synthesis Technology of Silver Nanopowders	42
<i>Kalashnikov I. E, Bolotova L. K., Kobeleva L. I., Podymov N. B., Karabutov A. A.</i> Application of Laser Optoacoustic Method for the Study of Elastic Modules of Metal Matrix Composite Materials, Modified by Refractory Nanoparticles	53
<i>Krylov D. S.</i> Investigation of the Super-Cooled Water State in the Pores of Silicate Materials by Low-Frequency Noise Method $+10^{\circ}C - -150^{\circ}C$	61
<i>Kuznetsova N. V.</i> On the Solution of the Dirichlet Problem in a Piecewise Homogeneous Band with the Two-layer Film Inclusion	65
<i>Lukyanov P. Yu., Petrov O. I., Gurulev A. A., Orlov A. O.</i> Seasonal Changes of Hydro-Physical Parameters of the Lake Doroninskoye	69
<i>Machikhina I. O., Kholodovskii V. Ye.</i> Dynamic and Emissivity Characteristics of Inter-Atomic Dipoles of Metals in the Model of the Van Der Waals Interaction	74
<i>Panina T. Yu.</i> The Use of Integrated Assessment in Determining of the Economic Efficiency of Alluvial Deposits Development	84
<i>Stepanov N. P., Trubitsina E. N.</i> Temperature Dependence of the Reflection Spectra of the Plasma Crystal $Bi_{0,6}Sb_{1,4}Te_3$ in the Temperature Range of 78 K – 292 K	90
<i>Tolpaev V. A., Gogoleva S. A.</i> Mathematical Models for Data Processing of Gas-Hydrodynamic Researches of Wells	95
<i>Kholodovskii S. Ye., Efimova I. A.</i> Optimal placement of Drainage Under the Concrete Dam with an Elliptical Base	100
<i>Kholodovskii S. Ye.</i> On the Solution of Regional Value Problems for the Poisson Equation in Flat Areas Bounded with Strongly and Weakly Permeable Films Connected in Series	
<i>Tsynguev B. T.</i> Team Formation Problem on the Base of Ontology Model of Competency	110

POLEMIC. PEOPLE. EVENTS

<i>Bordonskaya L. A.</i> Physics and Culture	117
<i>Serebryakova S. S.</i> Galileo Galilei: Truth through Telescope Lenses (Commemorating the 450th Anniversary of the Birth of Galileo Galilei and the 405th Anniversary of Telescopic Astronomy Era)	132

УДК 681.3
ББК 22.18

Олег Иванович Вийтович,
аспирант,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30)
e-mail: *Viytovich-O@mail.ru*

Коэффициент эксплуатационной надёжности как показатель эффективности ветроустановок на стадии проектирования

Рассмотрены во взаимосвязи климатические, технологические и экономические факторы, влияющие на значение коэффициента эксплуатационной надёжности, который является оценивающим показателем эффективности проектируемых ветроустановок при различных вариантах. Показатель коэффициента эксплуатационной надёжности оценки эффективности ветроустановок на стадии проектирования необходим для сравнения вариантов разрабатываемых проектов. Для определения разрабатываемых проектов выявляются необходимые факторы, которые подтверждаются параметрами, имеющими математическое значение.

Ключевые слова: климатические, технологические и экономические факторы; показатель коэффициента эксплуатационной надёжности, ветроустановка, показатель эффективности, сравнение вариантов разрабатываемых проектов, производительность ветроустановки.

Oleg Ivanovich Viytovich,
Postgraduate Student,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: *Viytovich-O@mail.ru*

Operational Reliability Coefficient as an Indicator of the Effectiveness of Wind Turbines at the Design Stage

The relationship of climatic, technological and economic factors affecting the value of the coefficient of operational reliability, which is assessing the indicator of the efficiency of the designed wind turbines in different variants are considered. Indicator ratio of operational reliability of evaluation of efficiency of wind turbines at the design stage is necessary to compare the options of the developed projects. To determine the developed projects, the relevant factors are identified, which are confirmed by the parameters that have mathematical significance.

Keywords: climatic, technological, and economic factors; the ratio of the coefficient of operational reliability, the wind installation, efficiency indicator, comparison of options developed projects, the performance of wind turbine.

При варьировании проектов ветроустановок выявляются факторы, выраженные параметрами, имеющими математическое значение. При этом анализируются прямые и косвенные связи факторов, влияющие на показатель коэффициента эксплуатационной надёжности, который является качественным результатом при сравнении вариантов проектных разработок ветроустановок (рис. 1).

В эксплуатационный период ветроустановка работает в различных условиях. Одним из них является природно-климатический фактор, который взаимосвязан с воздушными потоками, скоростью их передвижения, безветрием, влияющих на конструктивно-технологические решения описываемые разномасштабными и разноуровневыми параметрами.

Оценку вариантов проектируемых ветроустановок должны осуществлять показателем коэффициента надёжности, который находится в тесной взаимосвязи технологических, природно-климатических, экологических и экономических факторов, и объединяет несколько групп параметров, характеризующих их свойства.

Технологический фактор (Т. Ф.), $T.Ф.=F(Б.Р; Д.В; Р.С.Э; Д.л.)$; где: (Б. р.) – безотказность работы; (Д. в.) – долговечность ветроустановки; (Р. в.) – ремонтпригодность ветроустановки; (С. э.) – сохраняемость элемента; (Д. л.) – диаметр лопасти [4; 5] (рис. 2).

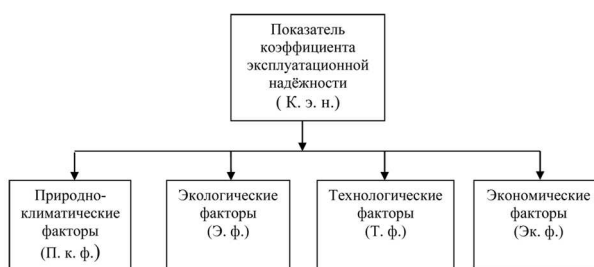


Рис. 1. Взаимосвязь факторов ветроустановок

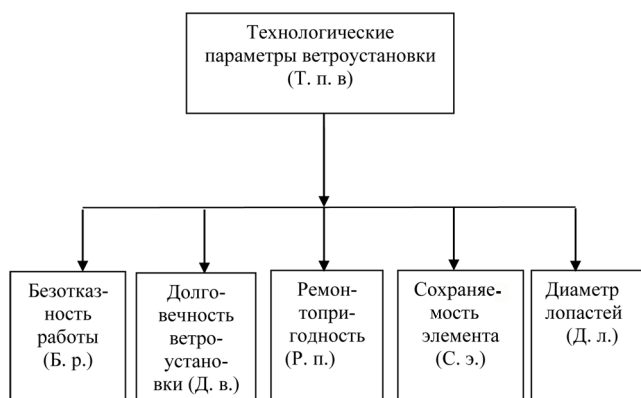


Рис. 2. Схема технологического фактора

Климатический и экологический факторы (К. Э .Ф.), $К. Э. Ф. = F(П. В; Пр. В.; П. Т.; О. Т.; Я. П.; О. Б.; З. В.)$ (рис. 3).

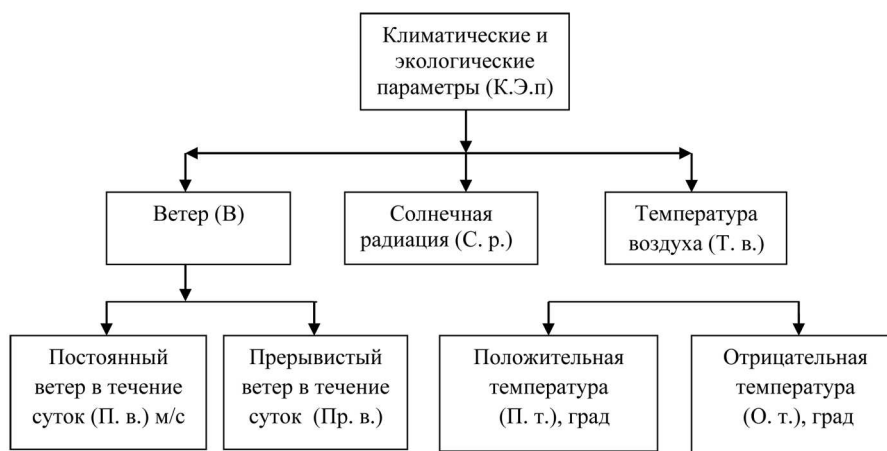


Рис. 3. Схема климатического и экологического факторов

Экономический фактор (Э. Ф.), Э. Ф. = F(П. В.; СВ). Для определения производительности ветроустановки разработана схема экономического фактора (Пр) = F(Д. л.; Пост. в.; Пр. в., Иск. п. в.) (рис. 4).

Выявленные признаки рассматриваемых факторов, обладающих прямыми связями, дают возможность разработать модель множественной регрессии. Разработана сводная схема взаимосвязи параметров технологического, климатического, экологического, экономического факторов (рис 5.)

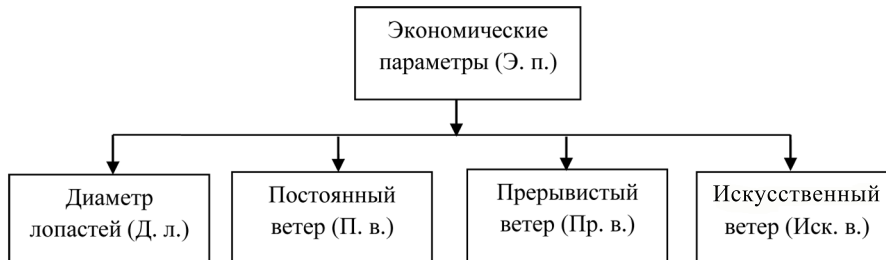


Рис. 4. Схема экономического фактора

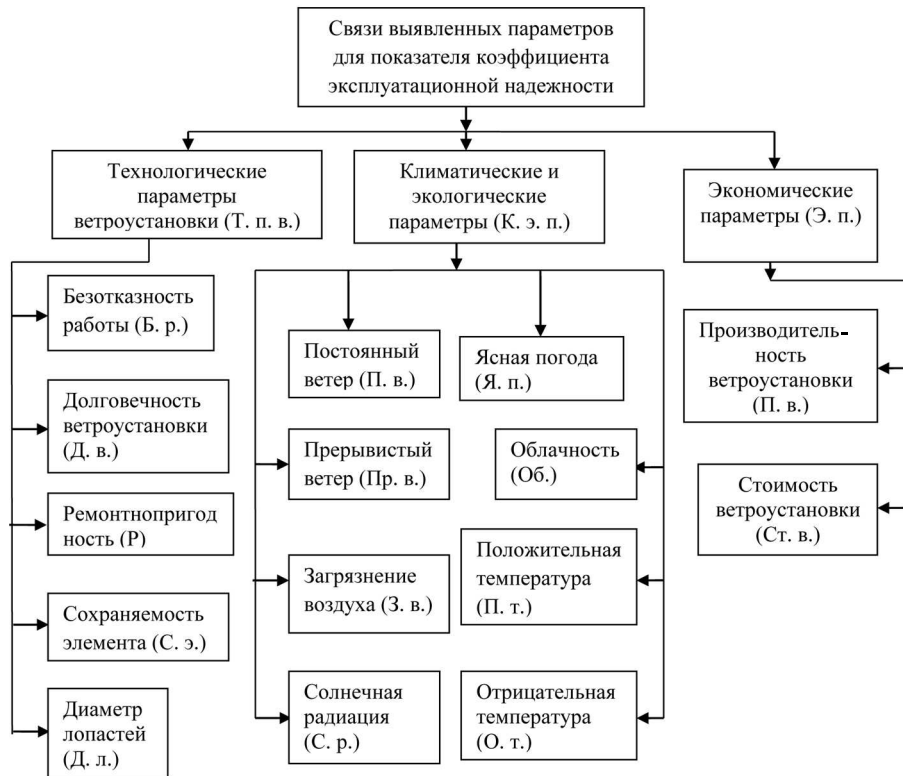


Рис. 5. Сводная схема взаимосвязи выявленных признаков в факторах

Прямые связи параметров способствуют варьированию конструктивных решений и стоимости ветроустановок при определении их производительности. Использование энергии ветра связано со многими факторами, связанные непостоянством скорости и направлением ветрового потока, а также малой концентрацией воздушного потока на единицу площади. Плотность ветрового потока невелика, и поэтому необходимо предусмотреть как диаметр, так и количество лопастей рабочего колеса.

Для определения скорости ветрового потока, при которой рабочее ветровое колесо должно развивать заданную мощность, вначале необходимо рассчитать массу воздуха [4; 5]. Обозначим через

массу m воздуха, протекающего через поперечное сечение площадью A со скоростью u . Определим массу воздуха по формуле:

$$m \equiv \rho Av \quad (1)$$

где: ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ; A – площадь поперечного сечения лопасти ветрового колеса, м^2 ; v – скорость ветрового потока, м/с ; Кинетическая энергия ветра равна $mU^2/2$. Подставив значение получим T , получим:

$$mU^2/2 = \rho Av^3/2; \quad (2)$$

Мощность N ветроколеса определяется произведением силы F ветра на его скорость u [4; 5]. На тело произвольной формы действует сила:

$$F = C_x \rho v^2/2. \quad (3)$$

C_x – аэродинамический коэффициент,
 A – площадь миделевого сечения.

Обозначим через u скорость перемещения поверхности лопастей ветроколеса, тогда относительная скорость набегающего ветра будет $U - u$, а силу ветра определим по формуле:

$$F_x = C_x \rho A (U - u)^2/2. \quad (4)$$

Отсюда определим мощность ветроколеса по формуле [4; 5]:

$$N = C_x \rho A (U - u)^2 u/2. \quad (5)$$

Отношение работы, развиваемой движущейся поверхностью площадью сечения A , к энергии ветрового потока $\rho A U^3/2$, площадь поперечного сечения которого равна площади сечения этой поверхности, определяет значение коэффициента использования ветра по формуле:

$$C_x \rho A (U - u)^2 u/2 \quad (6)$$

$$\epsilon = (C_x \rho A (U - u)^2 u/2) / (\rho A U^3/2). \quad (7)$$

Тогда мощность рассчитаем по формуле:

$$N = v^3 \epsilon/2. \quad (8)$$

Обозначим через D диаметр ветроколеса. Для воздуха при температуре $t_b = 15$ С и давлении $P = 1,013 - 105$ (Па) мощность ветродвигателя, кВт, определим по формуле:

$$N = 0,481 D^2 v^3 \epsilon \times 10^3. \quad (9)$$

В таком случае диаметр ветроколеса определим по формуле, м:

$$D = \sqrt{2080/v^3 \epsilon} \quad (10)$$

Для других значений:

$$N_x = NP(273 + 15)/[P_1(273 + t_b)]. \quad (11)$$

Соответственно диаметр ветроколеса определим по формуле (11):

$$D = \sqrt{2080/v^3 \epsilon} \times \sqrt{P_1(273 + t_b)/P(273 + 15)}. \quad (12)$$

Скорость ветра, при котором ветроколесо должно развивает заданную мощность, определим по формуле [4; 5]:

$$w \equiv 2\pi N \times D/2; \text{ (кВт)}; \quad (13)$$

где: N – частота вращения ветроколеса – 600 об/мин;
 $\frac{D}{2}$ – радиус ветроколеса – 2 м; 4 м; 6 м; 8 м; 10 м;
 V – скорость ветрового потока, (выбираем 3 м/с).

Так как для определённой местности средняя скорость относительно постоянна, то мощность ветроустановок можно повысить за счёт увеличения площади сечения лопасти ветроколеса, через которое проходит ветровой поток по формуле [4; 5]:

$$A = \pi D^2 / 4. \tag{14}$$

Экономический эффект от использования энергии ветра определяется, главным образом, её количественными и качественными показателями [9; 11; 12] табл. 1

Таблица 1

Диаметр ветроколеса D(м)	Площадь сечения трёхлопасного ветроколеса A(m ²)	Мощность ветроустановки W (кВт/ч)	Скорость ветрового потока V(м/с)
2,0	3,14	0,602	6,0
4,0	12,56	1,076	7,0
6,0	28,26	1,413	8,0
8,0	50,4	1,674	9,0
10,0	78,5	1884	10,0

Для начала рассчитаем коэффициент, определяемый отношением традиционному диаметру лопастей к предлагаемому 2 м; 4 м; 6 м; 8 м; 10 м; при мощности ветроустановки 2 кВт/ч, 6 кВт/ч, 10 кВт/ч, (январь, апрель, июль, октябрь) за период 1999 г, 2000 г, 2008 г.

T – число месяца;

Y – производительность ветроустановки, кВт/ч;

X1 – коэффициент определяемый отношением традиционного диаметра лопастей (Д. т.) к предлагаемому (Д. п.), где: K2=Д. т. / Д. п.; где: (Д. т. = 1 м).

X2 – коэффициент, определяемый отношением времени продолжительности ветрового потока (т.д. в. п.) к суточному времени (tc), где: K2= т.д. в. п./tc. в × 100 %;

X3 – коэффициент, определяемый отношением времени прерывистого ветрового потока воздуха (тп. в. п.) к суточному времени, где: K3 = тп. в. п./ tc. в. × 100 %;

X4 – коэффициент, определяемый отношением времени искусственного ветрового потока воздуха (ти.в.п.в.) к продолжительности суточного времени (tc), где : K4 = ти.в.п.в. /tc.в. × 100 %;

X5 – диаметр лопастей (Д. л.); где: K = 5(от 1 м до 10 м);

X6 – V – скорость ветрового потока, м/с;

X7 – Y – производительность ветроустановки, кВт/ч;

Расчётные данные по расчёту множественной регрессии приведены в табл. 2.

Таблица 2

Число месяца	Коэф-т, определяемый отношением традиционного диаметра лопастей к предлагаемому	Коэф-т, определяемый отношением времени продолжительности ветрового потока к суточному времени	Коэф-т, определяемый отношением времени прерывистого ветрового потока воздуха к суточному времени	Коэф-т определяемый отношением времени искусственного потока воздуха к продолжительности суточного времени	Диаметр лопастей ветроустановки (м)	Скорость ветрового потока (м/с)V	Производительность ветроустановки кВт/ч Y
T	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
1	100,0	91,7	1,13	8,3	1,0	2,1	2,0
2	66,66	79,0	2,5	21,0	1,5	2,6	2,0
...	12,5	88,4	2,92	11,6	8,0	2,8	2,0
30	25,0	58,4	0,92	41,6	4,0	3,1	2,0

Вывод итогов, дисперсионный анализ приведены в табл. 3.

Вывод итогов

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,94
R-квадрат	0,89
Нормированный R-квадрат	0,88
Стандартная ошибка	0,10
Анализ	30

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	2	2,154134	1,077067	108,16111	1,29E-13
Остаток	17	0,268866	0,009958		
Итого	29	2,43			

	Коэф-т	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95 %	Верхние 95 %	Нижние 95,0 %	Верхние 95,0 %
Y пересечение	2,093	0,160127	12,07072	3,43E-13	1,764426	2,421535	1,764426	2,421535
Переменная X1	0,071	0,117278	0,602476	0,551884	-0,16998	0,311293	-0,16998	0,311293
Переменная X2	0,021	0,001442	14,51139	2,86E-14	0,017966	0,023884	0,017966	0,023884

Определение мощности по данным расчёта множественной регрессии ветроустановки в течение месяца.

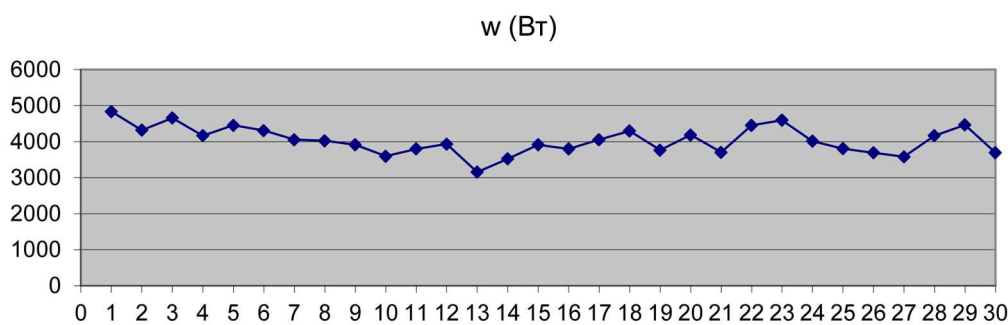


Рис. 6. График мощности ветроустановки в течение месяца

При проектировании ветроустановок необходимо использовать только те параметры факториальных признаков, которые тесно связаны между собой, зависят и влияют на результирующий показатель, находящиеся в прямой зависимости друг от друга (рис. 7).

X-7 – Y – производительность ветроустановки, кВт/ч;

Множественная регрессия дает возможность прогнозировать значения одной переменной Y на основе значений двух или нескольких независимых переменных X1, X2, ..., Xm. Уравнение линейной множественной регрессии имеет вид:

$$Y_{ij} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m, \tag{15}$$

где: Y_{ij} – теоретические значения результирующего значения, полученные путём постановки соответствующих значений факторных признаков; $b_0, b_1, b_2, \dots, b_m$ – параметры уравнения (коэффициент регрессии).

При определении параметров модели методом наименьших квадратов минимизируется сумма квадратов остатков.

$$Q_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1x_1 - b_2x_2 - \dots - b_mx_m)^2 \rightarrow \min. \tag{16}$$

Рассматривая $Q_{\text{ост}}$ в качестве функции параметров b_1 и выполняя математическое преобразование (дифференцирование), получаем систему уравнений с m неизвестными (числу параметров b_i).

солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность Земли, температуру воздуха и скорость ветрового потока в данный период времени.

На стадии проектирования ветроустановок показатель коэффициента эксплуатационной надёжности служит критерием оценки эффективности ветроустановок. При значении $K_{н.в.} > 1$ ветроустановка вырабатывает максимальное количество электрической энергии для потребителей. Повышение её эффективности может быть достигнуто за счёт оптимизации конструктивных решений, связанных с применением компрессорного оборудования, а также изменения площади лопасти ветрового колеса.

Варьирование проектных решений ветроустановок осуществляется до получения значения показателя коэффициента эксплуатационной надёжности $K_{н.в.} > 1$.

Список литературы

1. Энергетика и охрана окружающей среды / под ред. Н. Г. Залогина и др. М.: Энергия, 1986. 352 с.
2. Надёжность и эффективность в технике: справ. в 10 т. Т. 5. Проектный анализ надёжности. М.: Машиностроение, 1988. 320 с.
3. Надёжность электроснабжения: сб. статей / под ред. И. А. Сыромятникова. М.-Л.: Энергия, 1967. 272 с.
4. Литвиненко А. М. Пособие по изготовлению ветрогенераторов. М.: Энергия, 1996. 120 с.
5. Агапов В. А., Карасева А. А. Ветро двигатели // Нефть. Газ. Промышленность. М., 2003. 320 с.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 23. Бурятская АССР, Читинская область. Л.: Гидрометеиздат, 1989.
7. Смирнова Н. С., Солдатова Г. А. Климат Читы. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 246 с.
8. Энергетика и охрана окружающей среды / под ред. Н. Г. Залогина [и др.]. М.: Энергия, 1986. 352 с.
9. Малышев Е. А. Приоритеты инновационного развития энергетики Забайкальского края: монография. Чита: ЗабГУ, 2012. 130 с.
10. Коровин Г. Б., Малышев Е. А. Прогнозирование развития региональных энергетических систем // Экономика региона. 2011. № 2 (26). С. 184–188.
11. Экологическая гидрология: учебник / под ред. А. П. Белоусова М.: Академкнига, 2007. 397 с.
12. Экология и экономика природопользования: учебник / под ред. Э. В. Гирусова. М.: Юнити-Дана, 2005. 591 с.
13. Экология и безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов / под ред. Л. А. Муравья. М.: Юнити-Дана, 2000. 448 с.

References

1. Jenergetika i ohrana okruzhajushhej sredy / pod red. N. G. Zalogina i dr. M.: Jenergija, 1986. 352 s.
2. Nadjozhnost' i jeffektivnost' v tehnikе: Sprav. v 10 t. T. 5. Proektnyj analiz nadjozhnosti. M.: Mashinostroenie, 1988. 320 s.
3. Nadezhnost' jelektrosnabzhenija: sb. statej / pod red. I. A. Syromjatnikova. M.-L.: Jenergija, 1967. 272 s.
4. Litvinenko A.M. Posobie po izgotovleniju vetrogeneratorov. M.: Jenergija, 1996. 120 s.
5. Agapov V. A., Karaseva A. A. Vetrodvigateli // Neft'.Gaz. Promyshlennost'. M., 2003. 320 s.
6. Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 23. Burjatskaja ASSR, Chitinskaja oblast'. L.: Gidrometeoizdat, 1989.

7. Smirnova N. S., Soldatova G. A. Klimat Chity. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 246 s.
8. Jenergetika i ohrana okruzhajushhej sredy / pod red. N. G. Zalogina [i dr.]. M.: Jenergija, 1986. 352 s.
9. Malyshev E. A. Prioritety innovacionnogo razvitija jenergetiki Zabajkal'skogo kraja: monografija. Chita: ZabGU, 2012. 130 s.
10. Korovin G. B., Malyshev E. A. Prognozirovanie razvitija regional'nyh jenergeticheskikh sistem // Jekonomika regiona. 2011. № 2 (26). S. 184–188.
11. Jekologicheskaja gidrologija: uchebnik / pod red. A. P. Belousova M.: Akademkniga, 2007. 397 s.
12. Jekologija i jekonomika prirodnopol'zovanija: uchebnik / pod red. Je. V. Girusova. M.: Juniti -Dana, 2005. 591 s.
13. Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: ucheb. posobie dlja vuzov / pod red. L. A. Murav'ja. M.: Juniti -Dana, 2000. 448 s.

Статья поступила в редакцию 10.05.2014

УДК 553.611.2
ББК 35.41

Александр Викторович Галахов,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова Российской академии наук
(119991, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 49)
e-mail: aleksander.galakhov@yandex.ru

Виктор Александрович Зеленский,
кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник,
Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова Российской академии наук
(119991, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 49)
e-mail: zelensky55@bk.ru

Сергей Фёдорович Забелин,
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30)
e-mail: s.zabelin2012@yandex.ru

Корундовая керамика из порошков, полученных из аморфного алюмогеля¹

Представлены результаты изучения спекания и механических характеристик материала из порошков $\alpha - Al_2O_3$, получаемых СВС процессом в азотсодержащих алюмогелях. Благодаря низкой температуре синтеза эти порошки имеют высокую дисперсность. Температура спекания компактов, отформованных из этих порошков, ниже аналогичной для порошков, получаемых из гидроокисных прекурсоров. В спечённом материале реализуется однородная мелкозернистая структура, обеспечивающая высокие механические свойства.

Ключевые слова: корундовая керамика, синтез порошкового сырья, гидроокисные прекурсоры, синтез из аморфного алюмогеля.

Alexander Viktorovich Galakhov,
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,
Metallurgy and Materials Science Institute named after A. A. Baykov, the Russian Academy of Science
(49 Leninsky Ave, Moscow, Russia, 119991)
e-mail: aleksander.galakhov@yandex.ru

Victor Aleksandrovich Zelensky,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher,
Metallurgy and Materials Science Institute named after A. A. Baykov, the Russian Academy of Science
(49 Leninsky Ave, Moscow, Russia, 119991)
e-mail: aleksander.galakhov@yandex.ru

Sergey Fyodorovich Zabelin,
Doctor of Technical Sciences,
Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: s.zabelin2012@yandex.ru

Corundum Ceramics from the Powders Received from Amorphous Alumogel²

The results of studying of agglomeration and mechanical characteristics of a material from powders $\alpha - Al_2O_3$, received SVS by process in nitrogen-containing the alyumigelyakh are presented. Thanks to the low temperature of synthesis, these powders have high dispersion. Temperature of agglomeration of the compacts formed from these powders, below similar for the powders received from hydrooxide precursors. In the baked material the uniform fine-grained structure providing high mechanical properties is realized.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 13-08-00336 а.

²The research is performed with the financial support of RFFR, project №12-08-00124

Keywords: korundum ceramics, synthesis of powder raw materials, hydroxide precursors, synthesis from amorphous alumogel.

Керамика на базе Al_2O_3 широко используется для конструкционных приложений. К керамике такого назначения предъявляются повышенные требования по механической прочности. Для обеспечения этой характеристики в производстве изделий используются порошки с субмикронным размером частиц. Разумеется, это требование должна обеспечить технология получения порошкового сырья. В большинстве современных промышленных технологий порошковое сырье для оксидной конструкционной керамики получают жидкофазным методом синтеза [1]. В основе жидкофазного метода синтеза порошков $\alpha - Al_2O_3$ лежит процесс получения гидроокисей алюминия ($AlOOH$, $Al(OH)_3$) различной кристаллической модификации (бемит, байерит и др.) [2]. Заключительным этапом этих технологий является термическое разложение гидроокисных прекурсоров с дальнейшей кристаллизацией $\alpha - Al_2O_3$. Температура, требуемая для кристаллизации $\alpha - Al_2O_3$ из гидроокисных прекурсоров достаточно высока – 1200 °С. Высокая температура (0,60) кристаллизации $\alpha - Al_2O_3$ из гидроокисных прекурсоров неизбежно приводит к снижению дисперсности продукта. Это неблагоприятно сказывается на его активности в процессе спекания и формировании в материале мелкозернистой структуры, обеспечивающей высокие механические свойства. Последнее особенно важно для корундовой керамики конструкционного назначения. Понизить температуру синтеза $\alpha - Al_2O_3$ пытаются различными путями. В работах [3; 4] показано, что используя СВС процесс в азотсодержащих аморфных алюмогелях, температуру кристаллизации $\alpha - Al_2O_3$ можно существенно понизить – до 850 – 900 °С.

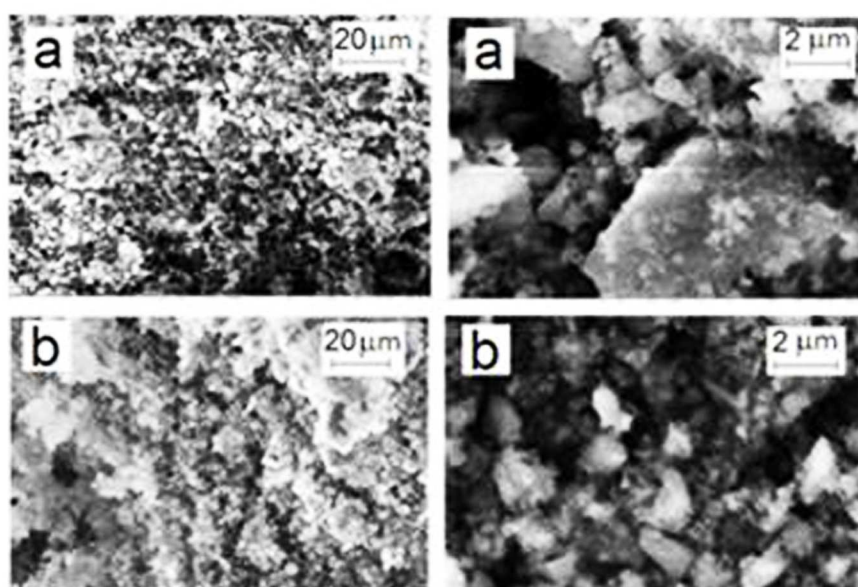


Рис. 1. а – порошки $\alpha - Al_2O_3$, полученные из гидроокисного осадка – АО1200;
б – из аморфного геля – АГ900

В практическом аспекте представляет интерес сопоставление порошков $\alpha - Al_2O_3$, полученных по «классической» схеме (из гидроокиси) и из аморфного геля, в частности, их характеристик, значимых в технологии конструкционной керамики. Результаты такого сопоставления приведены в настоящей публикации. Далее в тексте для обозначения порошков, полученных из гидроокиси, принято обозначение – порошки АО1200 (осаждённые), для порошков, синтезированных из аморфного геля – АГ900 (синтезированные из геля). Снимки порошков представлены на рис. 1. Общее впечатление – и в тех и в других порошках присутствуют агломераты. Однако, если в порошках из аморфного геля эти агломераты производят впечатление неплотных, «пушистых» скоплений индивидуальных частиц (левый нижний снимок на рис. 1), то в порошках, полученных из осадка

гидроокиси, агломераты представляют собой плотно спекшиеся, «твёрдые» образования (правый верхний снимок на рис. 1). Удельную поверхность порошков измеряли БЭТ-методом на приборе «ASAP 2020» фирмы Микрометрикс (США). Для порошка АО1200, полученного из осадка гидроокиси, она составила $3,56 \text{ м}^2/\text{г}$, тогда как для порошка АГ900 из аморфного геля – $12,84 \text{ м}^2/\text{г}$. Соответствующий этой удельной поверхности размер частиц для порошков из осадка гидроокиси составил $0,34 \text{ мкм}$, а для полученных из аморфного геля – $0,09 \text{ мкм}$.

Из порошков, прошедших механическое измельчение, одноосным прессованием формовали образцы в виде таблеток – для dilatометрических исследований и в виде балочек – для испытаний на прочность. Для dilatометрических исследований использовали высокотемпературный dilatометр DIL-402C (NETZSCH, Германия). Съёмку проводили при скорости подъёма температуры $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ в интервале $20 - 1500 \text{ }^\circ\text{C}$. Результаты показаны на рис. 2. Для порошков из гидроокиси АО1200 (рис. 2а) процесс спекания протекает без особенностей. Усадка стартует при $1100 \text{ }^\circ\text{C}$. С ростом температуры растёт величина усадки и её скорость. Для порошков из аморфного геля АГ900 (рис. 2б) усаживание компакта начинается ранее – при $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ и с высокой скоростью, которая далее (при $1200 \text{ }^\circ\text{C}$) резко падает и процесс переходит в стабильное русло. Наблюдаемый эффект аномально интенсивного уплотнения на раннем этапе спекания обусловлен быстрой усадкой во внутренних областях неплотных агломератов [5].

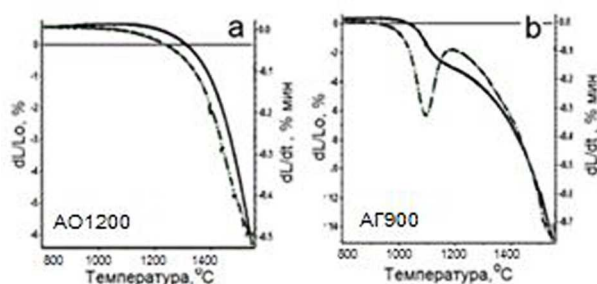


Рис. 2. Температурные графики усадки (сплошная линия) и скорости усадки (пунктирная линия: а – порошки $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$, полученные из гидроокисного геля, б – из аморфного)

Для определения температурного режима, обеспечивающего получение материала с высокой плотностью, образцы подвергали обжигу с градацией температур в интервале от 1000 до $1600 \text{ }^\circ\text{C}$. Продолжительность процесса спекания составляла 3 часа. Результаты показаны на рис. 3. Из него видно, что плотность исходного отформованного в одинаковых условиях компакта из порошков АГ900 значительно уступает исходной плотности компактов из порошков АО1200.

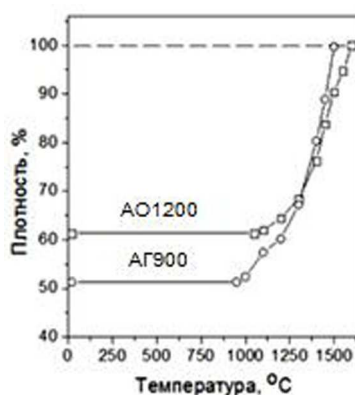


Рис. 3. Относительная плотность образцов из порошков АО1200 и АГ900 в функции температуры спекания

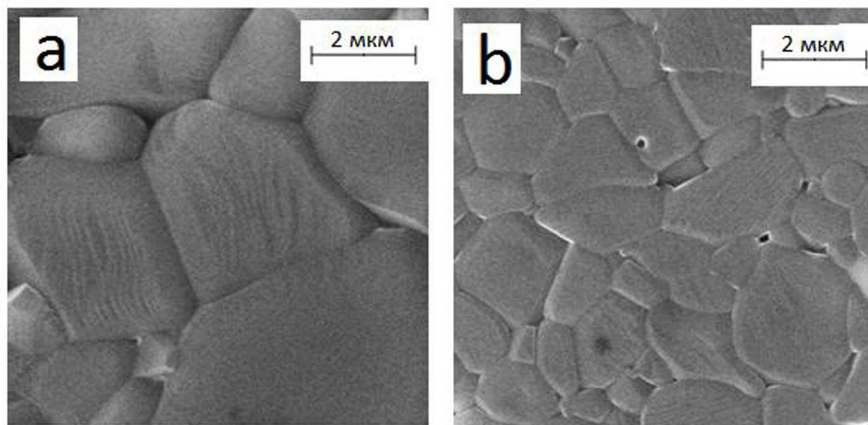


Рис. 4. Структура спечённых образцов а – из порошков АО1200 (1600 °С/3 ч), б – из порошков АГ900 (1500 °С/3 ч). Средний размер зерна а – 3,68 мкм, б – 1,32 мкм

Однако для достижения спеченной плотности, близкой к 100 %, компакты из порошков АО1200 необходимо спекать при температуре 1600 °С, тогда как для компактов из порошков АГ900 достаточно 1500 °С, т. е. температура их спекания на 100 °С ниже. По всем канонам современной теории спекания и рекристаллизации понижение температуры спекания должно способствовать формированию в материале более однородной и мелкозернистой структуры. Последнее подтверждают снимки, приведённые на рис. 4. Зерно в материале АО1200 визуально имеет широкий разброс по размерам (рис. 4а), при средней величине 3,68 мкм. В материале АГ900, спечённом при более низкой температуре (рис. 4б), структура более однородна, а средний размер зерна примерно в 2,5 раза меньше – 1,32 мкм.

Известно, что для конструкционной керамики внутренняя структура является фактором, напрямую определяющим его механическую прочность. Мы выполнили измерения прочности образцов, спечённых из порошков АО1200 и АГ900. Испытания проводили на машине для механических испытаний "Instron 3282" по схеме трёхточечного изгиба. Образцы в виде балочек, размером 4 × 4 × 60 мм, не шлифовали. Количество образцов на точку не менее восьми. Как и следовало ожидать, спечённый материал из порошков АГ900 показал высокую среднюю прочность - 384,4 МПа, а из порошков АО1200 – только 312,7 МПа.

Представленные результаты показывают, что применение порошков α – Al_2O_3 , синтезированных из аморфного геля, даёт как ощутимый технический эффект (более дисперсные порошки, более высокие механические свойства керамики), так и обладает экономическими преимуществами (снижение затрат на электроэнергию за счёт понижения температуры синтеза порошков и спекания материала). Это делает привлекательным их использование в производственной практике.

Список литературы

1. Галахов А. В. [и др.]. Жидкофазный синтез оксинитрида алюминия // Учёные записки ЗабГУ. 2013. №3(50). С. 22–28.
2. Чалый В. П. Гидроокиси металлов. Киев: Наукова думка, 1972. 158 с.
3. Галахов А. В., Зеленский В. А., Шелехов Е. В., Коваленко Л. В. Влияние воды на кристаллизацию α – Al_2O_3 в алюмогелях // Новые огнеупоры. 2014. № 1. С. 24–27.
4. Галахов А. В., Зеленский В. А., Шелехов Е. В., Коваленко Л. В. Влияние затравки на кристаллизацию α – Al_2O_3 в алюмогелях // Новые огнеупоры. 2014. № 2. С. 48–50.
5. Галахов А. В., Шевченко В. Я., Жаворонков Н. М. Распределение пор по размерам и формальный анализ кинетики спекания // Доклады АН СССР. 1991. Т. 316. № 6. С. 1444–1446.

References

1. Galakhov A. V. [i dr.]. Zhidkofaznyi sintez oksinitrida alyuminiya // Uchenye zapiski ZabGU. 2013. № 3(50). S. 22–28.
2. Chalyi V. P. Gidrookisi metallov. Kiev: Naukova dumka, 1972. 158 s.
3. Galakhov A. V., Zelenskii V. A., Shelekhov E. V., Kovalenko L. V. Vliyanie vody na kristallizatsiyu $\alpha - Al_2O_3$ v alyumogelyakh // Novye ogneupory. 2014. № 1. S. 24–27.
4. Galakhov A. V., Zelenskii V. A., Shelekhov E. V., Kovalenko L. V. Vliyanie zatravki na kristallizatsiyu $\alpha - Al_2O_3$ v alyumogelyakh // Novye ogneupory. 2014. №2. S. 48–50.
5. Galakhov A. V., Shevchenko V. Ya., Zhavoronkov N. M. Raspredelenie por po razmeram i formal'nyi analiz kinetiki spekaniya // Doklady AN SSSR, 1991. T. 316. № 6. S. 1444–1446.

Статья поступила в редакцию 24.04.2014

УДК 004
ББК 32.81

*Роман Николаевич Гордеев,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры информационных технологий,
Тверской государственной университет,
(170100, Россия, Тверь, ул. Желябова, 33)
e-mail: roman.gordeev@mail.ru*

Применение метода анализа однородности для визуализации и анализа гетерогенных данных

Проблемы классификации и ранжирования весьма часто возникают в современном информационном обществе. Будь то потребность ранжировать пользователей информационного ресурса относительно их интересов и предпочтений, анализ потребительских предпочтений посетителей интернет-магазинов, анализ и сопоставление потребительских свойств однотипных товаров и многое другое.

Для решения большинства подобных проблем зачастую применяются эмпирические методы, в частности случайный лес, который доказал свою состоятельность для составления очень точных прогнозов при решении задач регрессии и классификации.

В работе рассматриваются проблемы ранжирования и классификации, а также предложена адаптация метода анализа однородности для эффективной визуализации комитетов решающих деревьев, в том числе и для визуализации новых наблюдений, не вошедших в обучающую выборку.

Ключевые слова: классификация, анализ однородности, визуализация графов.

*Roman Nikolaevich Gordeev,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Tver State University
(33 Zhelyabov St., Tver, Russia, 170100)
e-mail: roman.gordeev@mail.ru*

Application of the Homogeneity Analysis for the Visualization and Analysis of Heterogeneous Data

Problems of classification and ranking arise in today's information society. Whether it's the need to rank users of information resources according to their interests and preferences, or analysis of consumer preferences of the visitors of internet shops, or may be an analysis and comparison of consumer properties of the some goods and more.

And an empirical methods suit well for such problems solving, in particular, a random forest, which has proved its worth for making very accurate predictions for solving regression and classification.

In this paper we consider the problem of ranking and classification. The adaptation of the analysis of homogeneity method had been proposed for effective visualization committees of decision trees, including visualization and new observations that were not included in the training set.

Keywords: classification, homogeneity analysis, visualization of graphs.

1. Введение. В работе мы рассмотрим проблему классификации данных и их визуального представления, а также предложим эффективный алгоритм, позволяющий значительно сократить количество вычислений, требуемых при малых изменениях анализируемых данных, возникающих в связи с добавлением или удалением какой-либо информации.

Для классификации по K классам положим, что $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ — n наблюдений прогнозирующей переменной $X \in \Xi$, $Y \in \{1, \dots, K\}$ — переменная ответа класса. Прогнозирующая переменная X является вектором размерности p и может содержать непрерывные или факторные переменные.

Визуализация малоразмерных вложений данных может принимать различные формы, от неконтролируемого обучения до контролируемого уменьшения размерности или малоразмерных вложений данных, таких как анализ соседних компонентов [1] и схожих методов [2]. Однако у нас несколько другие цели: мы хотим рассмотреть существующий алгоритм, точнее, класс алгоритмов, включающих случайный лес и вложенные деревья классификации, и разработать эффективные методы визуализации для членов этого класса.

Ансамбли деревьев показали, что могут делать достаточно точные прогнозы, а случайный лес, возможно, один из лучших самообучающихся машинных алгоритмов в том смысле, что его точность предсказаний очень близка к истинному значению даже без особой настройки параметров.

В нашей работе мы будем рассматривать случайный лес [3], вложенные деревья решений [4], и некоторые новые методы, например, ансамбли правил [5].

Некоторые из существующих работ по визуализации деревьев [8] и ансамблей деревьев были всесторонне рассмотрены в работе [12] и включают рассмотрение рельефных графиков и графиков слежения, используемых, например, для определения устойчивости деревьев и определения, какие переменные были выбраны в качестве критерия классификации.

Так называемые матрицы близости часто используются для маломерных вложений наблюдений в классификации [3; 9; 10]. Вопросы неконтролируемого обучения с применением случайного леса рассмотрены в работе [11]. Каждая запись в матрице близости отражает долю деревьев в ансамбле, для которого пара наблюдений находится в одном и том же узле. Недостатком указанных методов визуализации является то, что исходные узлы дерева не отображаются, поскольку происходит потеря информации за счёт агрегации в матрице близости. Кроме того, это затрудняет добавление новых наблюдений.

В нашей работе мы будем применять методы анализа однородности для визуализации ансамблей деревьев. В данном подходе наблюдения и правила (узлы) формируют двудольный граф. Минимизация квадратов длин рёбер в этом графе приводит к очень интересным малоразмерным проекциям данных.

В размещении правил (узлов) и наблюдений на одном графике есть некоторые преимущества, это позволяет лучше интерпретировать проекции. Кроме того, это позволяет точнее определять границы классов и отражать точность прогнозирования используемого ансамбля деревьев. Если количество классов классификации мало, то можно показать, что обычное правило классификации «ближайшего соседа» для малоразмерных вложений данных позволяет производить прогнозирование с точностью, аналогичной точности прогнозирования при использовании случайного леса.

В данном исследовании мы будем применять метод анализа однородности для визуализации больших массивов наблюдений и правил (узлов) на одном графике.

2. Анализ однородности.

2.1. Матрица индикаторов. Анализ однородности был разработан в прикладных науках для исследования и прогнозирования социальных процессов и визуального представления данных с факторными переменными. Положим, что у нас есть f факторных переменных $h = 1, \dots, f$, каждая с уровнем фактора l_h . Данные могут быть представлены в виде бинарной матрицы, если закодировать каждую из $h = 1, \dots, f$ переменных виде $n \times l_n$ матрицы бинарного индикатора $G^{(h)}$, в которой k -я колонка содержит 1 для всех наблюдений, имеющих уровень фактора k для переменной h . Эти матрицы могут быть объединены в матрицу $n \times m$ $G = (G^{(1)}, \dots, G^{(f)})$, где $m = \sum_h l_h$ – общее количество фиктивных переменных.

Каждый из листьев дерева может быть представлен бинарной переменной индикатором, в которой 1 означает, что наблюдение попадает в лист дерева, 0 не попадает. Рассматривая листы как обобщённые фиктивные переменные, можно аналогично построить матрицу индикаторов G для ансамблей деревьев. Для данного ансамбля деревьев с общим количеством листов m , пусть $P_j \subset \Xi, j = 1, \dots, m$, будут гиперплоскостями пространства Ξ соответствующие листу j . Наблюдение попадает в лист P_j тогда и только тогда, когда $X_i \in P_j$. Результаты ансамбля деревьев с m листами во всех деревьях можно объединить в матрицу индикаторов G размерности $n \times m$, где $G_{ij} = 1$, если i -е наблюдение попадает в j -й лист, и 0, иначе:

$$G_{ij} = \begin{cases} 1, & X_i \in P_j, \\ 0, & X_i \notin P_j. \end{cases}$$

Эта матрица очень похожа на матрицу индикаторов анализа однородности. Построковая сумма матрицы G идентична числу F факторных переменных анализа однородности, более того, построко-

вая сумма G для ансамблей деревьев равна числу деревьев, поскольку каждое наблюдение попадает только один раз в лист в каждом дереве. Далее мы не будем считать построковую сумму постоянной, это позволит нам сделать некоторые обобщения без чрезмерного усложнения обозначений и вычислений. Единственным предположением, которое мы введём, заключается в том, что суммы по строкам и колонкам матрицы G строго положительны, т. е. каждое наблюдение попадает по крайней мере в один узел, а каждый узел содержит по крайней мере одно наблюдение. Кроме того, мы будем полагать, что корневой узел, содержащий все наблюдения, входит в набор правил. Это гарантирует, что двудольный граф, соответствующий G , является связанным.

2.2. Двудольный граф и анализ однородности. Анализ однородности можно рассматривать как формирование двудольного графа, в котором каждое из n наблюдений и каждое из m правил или фиктивных переменных представлены узлом графа. Между наблюдением и правилом (узлом) существует ребро тогда и только тогда, когда наблюдение удовлетворяет правилу. Другими словами, между наблюдением i и правилом j существует ребро тогда и только тогда, когда $G_{ij} = 1$.

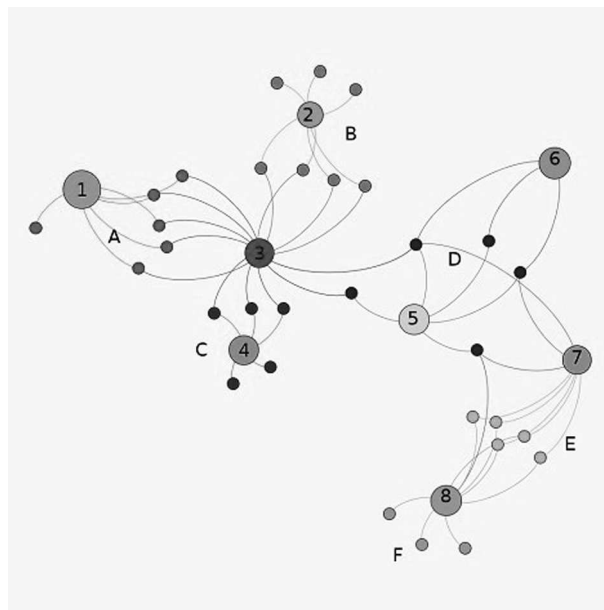


Рис. 1. Двудольный граф, сформированный из авторов, принадлежащих различным областям знаний, и их статей

Таким образом, целью является расположить наблюдение как можно ближе ко всем правилам, которые его содержат. И, наоборот, правило должно находиться как можно ближе к наблюдению, которое оно содержит.

На рис. 1 представлен пример отображения выборки авторов, принадлежащих различным областям знаний и их статей. В данном случае статьи (малые узлы графы) являются наблюдениями, а авторы (большие узлы графа) являются правилами. Некоторые авторы могут иметь совместные статьи, т. е. при классификации статей могут формироваться группы, которые отражают не только принадлежность той или иной статьи к определенному роду знаний, но и показывают связи между различными видами знаний. Так, например, фиолетовым (отмечен цифрой 3) и жёлтым (маркер 1) отмечены соответственно автор математик и автор физик, т. о. видно, что виды знаний весьма тесно связаны, а совместные статьи этих авторов образуют отдельный кластер, который содержит ошибочно в т. ч. и отдельную статью по физике. Анализ однородности пытается минимизировать сумму квадратов длин всех рёбер. На картинке представлен граф при фиксированном положении правил. Каждая статья располагается в центре относительно всех правил, которые к ней применяются. Цвет статей соответствует различным классам. Физико-математические статьи, например, рисуются красным (литера А), статьи на стыке информатики и математики зеленым (литера С).

Пусть U – матрица размером $n \times q$, содержащая координаты n наблюдений во вложении размерности q , R – матрица $m \times q$ проецируемых правил. Обозначим через U_i i -ую строку матрицы U , а

через R_j j -ю строку матрицы R . Анализ однородности выбирает проекцию, минимизируя квадраты длин рёбер:

$$\arg \min_{U,R} \sum_{i,j:G_{ij}=1} \|U_i - R_j\|_2^2. \quad (1)$$

Пусть e_n – n -мерная колонка колонка-вектор, содержащая одни 1, а 1_q – q -мерная единичная матрица. Чтобы избежать тривиальных решений дополнительно накладываются ограничения [6] вида

$$U^T W U = 1_q, \quad (2)$$

$$e_n^T U = 0, \quad (3)$$

где W – положительно определённая весовая матрица.

Таким образом, анализ однородности соответствует нахождению вложения размерности q (где q обычно равно 2) как наблюдений, так и правил, таких, что сумма квадратов длин рёбер является минимальной. Далее мы будем взвешивать выборки количеством правил, с которыми они связаны, таким образом W будет диагональной матрицей с элементами $W_{ii} = \sum_j G_{ij}$, поэтому $W = \text{diag}(GG^T)$ является диагональной частью GG^T . В стандартном анализе однородности каждая выборка является частью точно такого же количества правил, поскольку соответствуют уровням фактора, и весовая матрица $W = f1_n$ таким образом будет единичной матрицей, умноженной на число f факторной переменной. Для большинства ансамблей деревьев также справедливо, что $W = T1_n$ является диагональной матрицей, поскольку каждое наблюдение попадает в такое же количество T листьев, где T – количество деревьев в ансамбле.

3. Основные результаты.

3.1. Отображение правил. Если координаты U наблюдений остаются постоянными, то расположения правил R в задаче (1) при ограничениях (2) могут быть легко найдены, поскольку ограничения не зависят от R . Каждая проекция правила R_j , $j = 1, \dots, m$ находится в центре относительно всех наблюдений, которые, как правило, содержат:

$$R_j = \frac{\sum_i G_{ij} U_i}{\sum_i G_{ij}}$$

$$R = \text{diag}(G^T G)^{-1} G^T U, \quad (4)$$

где $\text{diag}(M)$ – диагональная часть матрицы M , в которой все элементы, не принадлежащие диагонали, равны 0.

Значения матрицы U могут быть найдены методом наименьших квадратов или посредством решения задачи с собственными значениями.

Задача оптимизации (1) при ограничениях (2) может быть решена либо оптимизацией позиций U для n реализаций, либо оптимизацией позиций R для m правил, при этом в каждом случае остальные параметры остаются неизменными. Оптимизация относительно позиций правил R при заданных фиксированных позициях U реализаций решена в (4). Оптимизация относительно U при ограничениях (2) решается методом наименьших квадратов аналогично (4) [7]:

$$U = \text{diag}(GG^T)^{-1} GR, \quad (5)$$

помещая каждую реализацию в центр всех правил, которые её содержат.

В отличие от следующего подхода, основанного на вычислении собственных значений, вычисления состоят только из умножения матриц. А поскольку G в большинстве случаев является разреженной матрицей, то это может значительно улучшить эффективность вычислений.

Целевая функция задачи (1) может быть альтернативно записана в виде:

$$\begin{aligned} & \sum_{i,j:G_{ij}=1} \|U_i - R_j\|_2^2 = \\ & = \sum_i \|U_i\|_2^2 \sum_j G_{ij} + \sum_j \|R_j\|_2^2 \sum_i G_{ij} - 2 \sum_{ij} \text{tr}(U_i^T G_{ij} R_j) = \end{aligned} \quad (6)$$

$$= \text{tr}(U^T \text{diag}(GG^T)U) + \text{tr}(R^T \text{diag}(G^T G)R) - 2\text{tr}(U^T GR),$$

где $\text{tr}(M)$ – след матрицы M , обозначим:

$$D_u = \text{diag}(GG^T),$$

$$D_r = \text{diag}(G^T G).$$

Тогда исходная задача может быть сведена к задаче вида:

$$\arg \max_U \text{tr}(U^T (GD_r^{-1}G^T)U) \quad (7)$$

при ограничениях

$$U^T D_u U = 1_q$$

$$e_n^T U = 0.$$

Далее, используя разложение по собственным векторам и (4), получим решение:

$$U = D_u^{-1/2} V, \quad (8)$$

$$R = D_r^{-1} G^T U, \quad (9)$$

где $V = (\vartheta_1, \dots, \vartheta_q)$ – матрица, состоящая из первых q собственных векторов матрицы:

$$A := D^{-1/2} S_n^T (GD_r^{-1}G^T) S_n D_u^{-1/2}.$$

3.2. Фиксированные позиции правил и новые наблюдения. После получения раскладки графа (9) мы предлагаем упростить второй шаг и зафиксировать положение правил в точках полученных решений. В этом случае анализ однородности будет иметь очень полезную черту: можно будет элементарно добавлять новые наблюдения на график без пересчёта всего решения. Минимизировать сумму квадратов длин рёбер (1) при фиксированных позициях правил весьма просто, наблюдение помещается в центр всех правил, которые к нему применяются. В матричном виде решение выглядит так:

$$U = \text{diag}(GG^T)^{-1} GR = D_u^{-1} GR. \quad (10)$$

Простой пример приведён на рис.1. На нём представлены статьи (наблюдения) и авторы (правила), полученные на основе анализа структуры данных системы цитирования elibrary.ru. Правила являются бинарными индикаторами, отражающими одну или несколько характеристических черт (в нашем исследовании это авторство статьи).

Для размещения наблюдений мы предлагаем следующий двухшаговый подход.

1. Находим положение правил, минимизируя сумму квадратов длин ребер, при ограничениях (2) и (3).

2. Фиксируем положение правил и размещаем все наблюдения U , минимизируя снова сумму квадратов длин рёбер. Каждое наблюдение размещается в центре всех правил, которые к нему применяются, используя (10).

3. Добавляем новое наблюдение и вычисляем его расположение, используя (10).

В примере, приведённом на рис. 2, показано предсказание новых наблюдений в двухмерных проекциях. Раскрашенные наблюдения соответствуют обучающим наблюдениям с известными кодами цвета (класса области знаний). Светлофиолетовым изображена статья по физике (обозначена литерой А' на рисунке), авторами которой являются физик, математик и информатик. Статья при этом правильно классифицирована и отнесена к области знаний «физика», поскольку это ближайшая обучающая группа. Справа аналогичным образом классифицируется изображённая серым узлом (обозначена на рисунке литерой Е') статья по медицине, написанная медиком, специалистом в области ИТ и биологом. Однако она была неверно отнесена к области знаний «химия» (розовый цвет, группа Е).

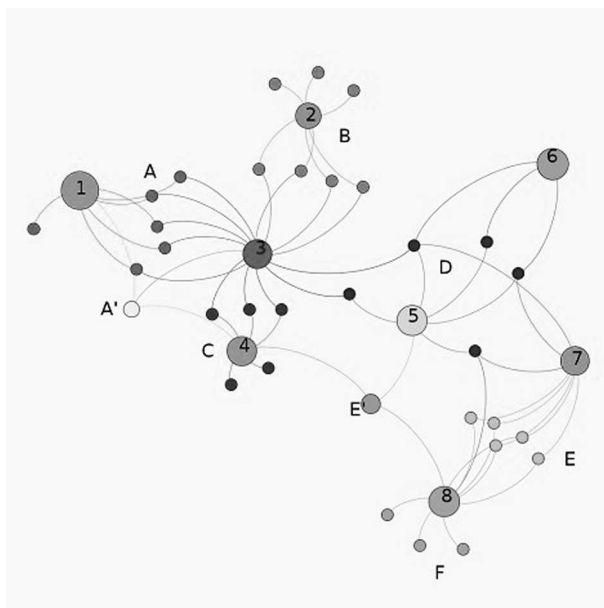


Рис. 2. Классификация вновь добавленных статей

4. Пример.

Теперь попробуем применить анализ однородности для оценки действий экспертов, рецензирующих статьи в научных журналах. И кроме того, попробуем проанализировать некоторые другие интересные характеристики, полученные в ходе эксперимента. Данные о результатах экспертизы статей, принимаемых в рецензируемые журналы по астрофизике, были собраны Нури и Роландом за промежуток с 2002 по 2006 гг. Всего было получено информации о 5 745 оценках статей, оцениваемых 696 экспертами. При каждой оценке возможен один из 3 вариантов: оценивать положительно, оценить отрицательно, отправить на доработку.

При анализе этих данных нас будет интересовать вопрос о том, можно ли установить связь между оценкой статьи и принадлежностью эксперта определённому научному центру. Это позволит нам сделать ряд определённых выводов, касающихся предвзятой оценки своих коллег, насколько одинаково оценивают статьи эксперты из одного научного центра, существуют ли внутри экспертов определённые подгруппы. Так же нас будет интересовать вопрос, есть ли связь между национальностью эксперта и его оценками статей.

Все эксперты принадлежали одному из 8 научных центров, первый будем обозначать светло-голубым, второй – тёмно-синим, третий – жёлтым, четвёртый – зелёным, пятый – красным, шестой – оранжевым, седьмой – коричневым, восьмой – чёрным.

Классификатор случайный лес со 100 деревьями и параметрами, настроенными на обучающей выборке. Принадлежность эксперта тому или иному научному центру определяется при помощи случайного леса с ошибкой примерно в 10 %. Двухмерные вложения нам интересны для выявления связей между научными центрами и выявления экспертов, ведущих себя значительно отлично от своих коллег.

Многомерное шкалирование. Для визуализации результатов анализа, полученных при помощи случайного леса, обычно применяют многомерное шкалирование близостей [3; 9]. Близость двух наблюдений определяется как соотношение деревьев в случайном лесе, для которого оба наблюдения попадают в листовую узел. Матрица близостей в наших обозначениях может быть вычислена при помощи следующего выражения:

$$T^{-1}GG^T,$$

где T – количество деревьев в ансамбле. Расстояние, определяемое как 1, меньше чем близость. Тогда матрица расстояний вычисляется при помощи выражения:

$$1_n - T^{-1}GG^T,$$

или при помощи монотонного преобразования, такого как квадратный корень, используемого в [11]. Здесь мы используем неметрическое многомерное шкалирование, а именно isoMDS [13–15], которое делает результаты инвариантными относительно любого монотонного преобразования расстояний. MDS генерирует двухмерные вложения для всех наблюдений, в нашем случае экспертов, которые можно видеть слева на рис. 3.

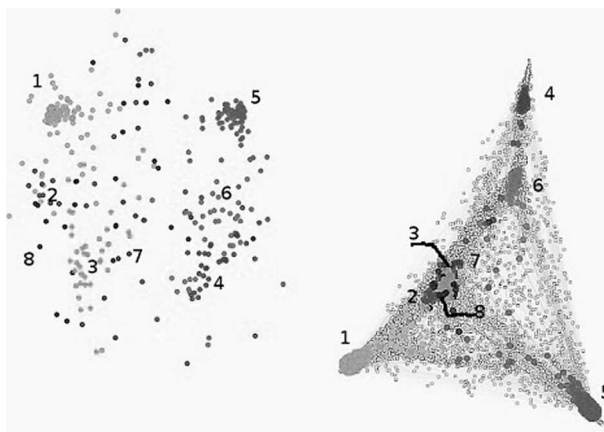


Рис. 3. Применение анализа однородностей для выявления групп экспертов

Хотя это даёт представление о близости между институтами, всё же научные центры не располагаются как когерентные блоки и особенно это заметно на экспертах из 7 и 8 научных центров (черный и коричневый), которые весьма широко разбросаны.

Анализ однородности. Справа на рисунке 3 представлены результаты обработки тех же данных при помощи анализа однородности. При этом G является матрицей размерности $n \times m$, в которой каждый из m столбцов соответствует листовому узлу случайного леса. Значение 0 соответствует случаю, когда эксперт не попал в лист, 1 — попал. Теперь заметно, что все научные центры имеют свои точки притяжения и располагаются более компактно, формируя треугольник, как показано на рисунке 3 справа. На рисунке отчётливо видно, что некоторые из научных центров имеют достаточно сильные взаимосвязи. При использовании этого подхода процент неверной классификации составляет примерно 19 % и есть ещё над чем работать (для случая использования метода «ближайший сосед» в двухмерных вложениях).

Однако, даже эти результаты дают весьма интересную картину. Так можно сказать, что эксперты из институтов 2, 3, 7, 8 примерно одинаково оценивают все статьи, в то время как эксперты из 4 и 6 институтов некоторые статьи оценивают одинаково, а относительно других статей их мнения весьма разнятся.

Выводы.

В работе было предложено использование метода однородности для визуализации и классификации данных. Подход заключается в вычислении начальных расположений правил на основе обучающей выборки и формировании начальных групп наблюдений на основе метода наименьших квадратов. Далее мы фиксируем расположение правил и поступающие новые наблюдения располагаем относительно уже зафиксированных расположений правил, а классификация нового наблюдения производится на основе принципа «ближайшего соседа» по отношению к классам наблюдений, сформированным обучающими данными.

Данный подход позволяет избежать полного пересчёта всей модели при добавлении в модель новых наблюдений и увеличить скорость работы алгоритма.

Возможности подхода продемонстрированы на модельном примере, оценивающем связи институтов на основе действий экспертов, рецензирующих статьи.

Список литературы

1. Goldberger J. Neighbourhood Components Analysis / Goldberger, J., Roweis, S., Hinton, G. and Salakhutdinov, R. *Advances in Neural Information Processing System*, 2005. Vol. 17. P. 513–520.

2. Sugiyama M. Dimensionality Reduction of Multimodal Labeled Data by Local Fisher Discriminant Analysis // The Journal of Machine Learning Research. 2007. № 8. P. 1061.
3. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. 1997. № 45. P. 5–32.
4. Breiman L. Bagging Predictors // Machine Learning. 1996. № 24. P. 123–140.
5. Friedman J. Predictive Learning via Rule Ensembles / J. Friedman and B. Popescu // The Annals of Applied Statistics. 2008. № 2. P. 916–954.
6. De Leeuw J. Homogeneity Analysis in R: The Package Homals / De Leeuw J. and Mair P. // Journal of Statistical Software. 2008. № 31. P. 1–21.
7. Michailidis G. The Gifi System of Descriptive Multivariate Analysis / Michailidis G. and De Leeuw J. // Statistical Science. 1998. Vol. 13. № 4. P. 307–336.
8. Breiman L. Classification and Regression Trees / L. Breiman, J. Friedman, R. Olshen and C. Stone 1998. Belmont: Wadsworth
9. Liaw A. Classification and Regression by Random Forest / A. Liaw and M. Wiener // R News. 2002. № 2. P. 18–22.
10. Lin Y. Random Forests and Adaptive Nearest Neighbors / Y. Lin and Y. Jeon // Journal of the American Statistical Association. 2006. № 101. P. 578–590.
11. Shi T. Unsupervised Learning With Random Forest Predictors / Shi T. and Horvath S. // Journal of Computational and Graphical Statistics. 2006. № 15. P. 118–138.
12. Urbanek S. Visualizing Trees and Forests // in Handbook of Data Visualization. 2008. Berlin, Heidelberg: Springer. P. 243–264.
13. Borg I. and Groenen P. Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications 1997. New York.
14. Kruskal J. Nonmetric Multidimensional Scaling: A Numerical Method // Psychometrika. 1964. № 29. P. 115–129.
15. Kruskal J., Wish M. Multidimensional Scaling. 1978. Beverly Hills: Sage Publications.

References

1. Goldberger J. Neighbourhood Components Analysis / Goldberger, J., Roweis, S., Hinton, G. and Salakhutdinov, R. Advances in Neural Information Processing System, 2005. Vol. 17. P. 513–520.
2. Sugiyama M. Dimensionality Reduction of Multimodal Labeled Data by Local Fisher Discriminant Analysis // The Journal of Machine Learning Research. 2007. № 8. P. 1061.
3. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. 1997. № 45. P. 5–32.
4. Breiman L. Bagging Predictors // Machine Learning. 1996. № 24. P. 123–140.
5. Friedman J. Predictive Learning via Rule Ensembles / J. Friedman and B. Popescu // The Annals of Applied Statistics. 2008. № 2. P. 916–954.
6. De Leeuw J. Homogeneity Analysis in R: The Package Homals / J. De Leeuw and P. Mair // Journal of Statistical Software. 2008. № 31. P. 1–21.
7. Michailidis G. The Gifi System of Descriptive Multivariate Analysis / Michailidis G. and De Leeuw J. // Statistical Science. 1998. Vol. 13. № 4. P. 307–336.
8. Breiman L. Classification and Regression Trees / L. Breiman, J. Friedman, R. Olshen and C. Stone. 1998. Belmont: Wadsworth
9. Liaw A. Classification and Regression by Random Forest / A. Liaw and M. Wiener // R News. 2002. № 2. P. 18–22.
10. Lin Y. Random Forests and Adaptive Nearest Neighbors / Y. Lin and Y. Jeon // Journal of the American Statistical Association. 2006. № 101. P. 578–590.
11. Shi T. Unsupervised Learning With Random Forest Predictors / T. Shi and S. Horvath // Journal of Computational and Graphical Statistics. 2006. № 15. P. 118–138.

12. Urbanek S. Visualizing Trees and Forests // in Handbook of Data Visualization. 2008. Berlin, Heidelberg: Springer. P. 243–264.
13. Borg I. and Groenen P. Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications 1997. New York.
14. Kruskal J. Nonmetric Multidimensional Scaling: A Numerical Method // Psychometrika. 1964. №29. P. 115–129.
15. Kruskal J., Wish M. Multidimensional Scaling. 1978. Beverly Hills: Sage Publications.

Статья поступила в редакцию 10.04.2014

УДК 691.53
ББК 38.33

Андрей Анатольевич Заярный,
кандидат технических наук, инженер производственно-технического отдела,
ООО «Староцементный завод»
(624800, Россия, Свердловская обл., г. Сухой Лог, ул. Пушкинская, 5 б)
e-mail: zayarniy@scz-cement.ru

Диверсификация технологии производства сухих смесей на основе высококачественных цементов

При расширении ассортимента выпускаемой продукции предприятием, производящим цемент, возможно получить наибольшую экономическую выгоду за счёт введения в эксплуатацию комбинированных технологических линий, позволяющих выпускать как сухие тампонажные, так и строительные смеси. Кроме того, контролируя качество производимого цемента, как основного связующего компонента, предприятия смогут производить конкурентную продукцию в виде смесей. Также введение в эксплуатацию таких технологических линий будет способствовать наращиванию объёмов производства цемента и одновременно позволит стабилизировать пиковые спады и увеличение спроса потребителей на цемент.

Ключевые слова: модернизация, освоение новых производств, экономическая эффективность.

Andrey Anatolyevich Zayarny,
Candidate of Technical Sciences, Engineer of Technological Department,
LLC "Starotsemnetny Zavod"
(5b Pushkinskaya St., Sukhoy Lug, Sverdlovsk Region, Russia, 624800)
e-mail: zayarniy@scz-cement.ru

Diversification of Dry Mixtures Manufacturing Based on High-Quality Cement

The plants expand the range of products it will allow to obtain the greatest economic benefit from the introduction of the combined operation of production lines, allowing to produce a dry backfill and mortars. Furthermore, controlling the quality of cement as the main binder component, enterprises can produce competitive products in the form of mixtures. In addition, the commissioning of production lines, will contribute to increasing the volume of cement production, and at the same time will help stabilize the peak downs and increased consumer demand for cement.

Keywords: modernization, development of new productions, economic efficiency.

При современном развитии экономики России всё больше увеличивается потребление цемента, а также растёт спрос на сухие строительные смеси, производимые непосредственно на территории нашей страны.

Линейка производимых сухих строительных смесей довольно обширна, её можно разделить на [1]:

- строительные (пескобетоны, кладочные, штукатурные);
- клеевые (для наклейки кафеля, мрамора, гранита, ПСБС, кирпича, ячеистых бетонов);
- специальные (огнезащитные составы, тёплые штукатурки и кладочные растворы с заполнителем);
- наливные полы (самовыравнивающиеся, с водоудерживающими, водоотталкивающими свойствами);
- герметизирующие шпалмы.

И очень важно отметить следующую тенденцию: темп прироста потребления сухих строительных смесей относительно слабо коррелирует с темпом прироста (спада) ввода в эксплуатацию жилья ($R_2 = 0,63$), сильнее – с индексом физического объёма работ по виду деятельности «Строительство»

($R_2 = 0,79$), но наиболее тесная статистическая взаимосвязь отмечена с темпом роста реального ВВП ($R_2 = 0,93$) [2].

Кроме того, существует перспектива развития производства специальных сухих тампонажных смесей (материалов). Она связана с тем, что при современной добыче нефти и газа, разведочное и эксплуатационное бурение ведётся на глубину 3500 – 4000 м и более. В связи с этим возникает необходимость поднимать цементные растворы за обсадными трубами на значительную высоту (более 2000 м). Если применять обычный тампонажный раствор ($\rho = 1,8 \dots 1,9 \text{ г/см}^3$), то его можно поднять на высоту не более 2 000 м, при этом давление в конце цементирования может достигнуть 200 атм. [3]. Для обеспечения получения тампонажных растворов с плотностью менее $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$, в облегчённый тампонажный цемент путём механического смешивания вводятся специальные добавки, которые обеспечивают тампонажным растворам снижение плотности, и кроме того могут придавать растворам необходимые требуемые свойства (характеристики), в зависимости от условий залегания и эксплуатации газонефтяных месторождений. Кроме того поставка непосредственно на кусты готовой тампонажной смеси актуальна для месторождений ближнего и дальнего Севера, так как доставка материалов и оборудования осуществляется только в зимнее время года.

В связи с этим на предприятии ООО «Староцементный завод» (г. Сухой Лог, Свердловская обл.) начато строительство с последующим вводом в эксплуатацию двух участков по производству сухих смесей. Первый участок будет являться опытно-промышленной установкой по производству сухих тампонажных смесей (ОУСС) с производительностью 4...6 т/ч. Второй участок сухих смесей, производительностью 30 т/ч, сможет выпускать как сухие тампонажные смеси, так и сухие строительные смеси. На рис. 1 изображена принципиальная схема ОУСС, состоящая из:

1. Фуллер-насос.
2. Силос цементный $V = 2 \text{ м}^3$ с ручной шиберной задвижкой 16.
3. Растариватель МКР добавки № 1.
4. Приёмный бункер добавки № 1 с ручной шиберной задвижкой 17.
5. Растариватель МКР добавки № 2.
6. Приёмный бункер добавки № 2 с ручной шиберной задвижкой 18.
7. Шнек подачи цемента в весовой дозатор с пневмоприводной поворотной заслонкой 19.
8. Шнек подачи добавки № 1 в весовой дозатор с пневмоприводной поворотной заслонкой 20.
9. Шнек подачи добавки № 2 в весовой дозатор с пневмоприводной поворотной заслонкой 21.
10. Весоизмерительный бункер ДЦ07-900 со встроенной поворотной заслонкой 25.
11. Смеситель КВАДР 2В750.
12. Промежуточный бункер с ручной заслонкой 22.
13. Шнек транспортировки смешанного материала в элеватор 14.
14. Бункер готовой смеси.
15. Узел затарки готовой продукции в МКР.
16. Электротельфер.

Порядок смешивания компонентов тампонажных смесей на ОУСС:

1. Цемент подаётся в цементный силос 2 фуллер-насосом 1 из силосов № 7 и 8. Датчик 16 верхнего уровня 23 цементного силоса установлен на расстоянии 1,5 м от верхней отметки силоса. Датчик 17 нижнего уровня 24 цементного силоса установлен на расстоянии 1 м от конусной части конструкции силоса. При критических уровнях цемента в силосе срабатывает звуковая сигнализация, по которой технолог либо включает, либо выключает фуллер-насос подачи цемента. Добавка №1 из МКРов через растариватель 3 подаётся в приёмный бункер 4. Добавка №2 из МКРов через растариватель 5 подаётся в приёмный бункер 6.

2. Шнеком 7 цемент подаётся в весоизмерительный бункер 10. При окончании дозирования цемента автоматически останавливается шнек 7, с одновременным запирающим пневматической поворотной заслонки 19.

3. Далее автоматически запускается шнек 8 подачи добавки № 1 в весо-измерительный бункер 10. При окончании дозирования добавки № 1 автоматически останавливается шнек 8, с одновременным запирающим пневматической поворотной заслонки 21.

4. После этого автоматически запускается шнек 9 подачи добавки № 2 в весоизмерительный бункер 10. При окончании дозирования добавки № 2 автоматически останавливается шнек 9, с одновременным запирающим пневматической поворотной заслонки 20.

Вес материала в весоизмерительном бункере будет отображаться на дисплее технолога в режиме онлайн. При отсутствии изменения веса материала за заданный период времени узел дози-

рования опытно-промышленной установки автоматически останавливается до выяснения причины аварии (ошибки).

5. При условии, что у смесителя разгрузочный пневматический секторный затвор находится в закрытом положении, смеситель 11 запускается в работу. Затем подаётся сигнал на отпирание пневматической заслонки 25 весоизмерительного бункера 10. После того, как индикатор веса весоизмерительного бункера будет показывать нулевую массу материала, заслонка 10 автоматически запирается, и начинается отсчёт времени смешивания материала.

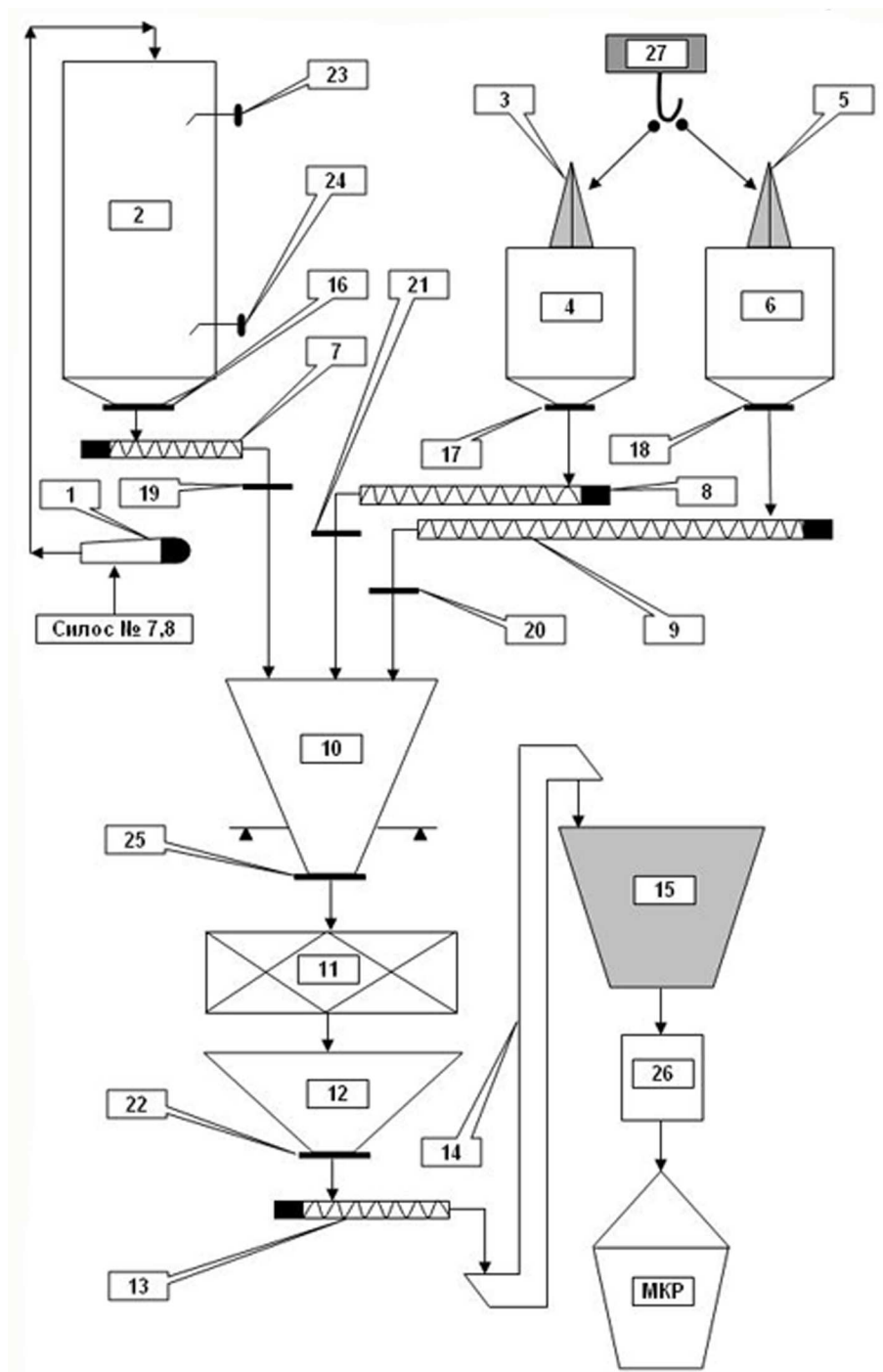


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема ОУСС

6. После операции смешивания по заданному периоду времени, у смесителя 11 открывается разгрузочный пневматический секторный затвор, и смешанный материал при работающем смесителе 11 разгружается в бункер 12 также в течение заданного периода времени. После этого разгрузочный пневматический секторный затвор закрывается.

7. Начинается новый цикл дозирования материалов (п.п. 2, 3, 4, 5, 6).

8. Готовая смесь шнеком 13 подаётся в ковшовый элеватор 14 и транспортируется в бункер готовой продукции, и через затарочный узел пакуется в МКРы. Данный узел посредством тензодатчика показывает фактический вес затаренного материала, также он снабжен функцией грубого и тонкого дозирования материала в тару. Автоматизация работы узла затаривания не связана с алгоритмом автоматизации узла дозирования и смешивания. Шкаф управления находится на месте расположения узла затаривания.

Данная опытно-промышленная установка будет работать как с двумя добавками, так и с одной (цемент + добавка № 1, цемент + добавка № 1 + добавка № 2). Эксплуатация данной установки, в первую очередь, позволит определить оптимальное решение по автоматизации участка сухих смесей, производительностью 30 т/час.

Уникальность технологии участка сухих смесей заключается в том, что данная технологическая линия позволяет выпускать как сухие тампонажные смеси, так и сухие строительные смеси с погрешностью дозирования компонентов при их смешивании не более 0,1 %. Кроме того, конструкция такого участка по своему исполнению не относится к типовым заводам сухих строительных смесей башенного типа. Такие типовые башенные заводы предлагают как отечественные, так и зарубежные производители.

Строящийся участок сухих смесей ООО «Староцементный завод» совмещает в себе оптимальное соотношение качества (надёжности) и стоимости технологического оборудования. Такое соотношение взаимосвязано с ёмкостью несущих конструкций и тем самым снижает до минимума капитальные затраты. Кроме того, стоит отметить, что данная технологическая линия спроектирована в границах существующего промышленного здания – бывший склад огнеупоров.

На рис. 2 изображена принципиальная схема участка сухих смесей, которая будет введена в эксплуатацию в два этапа. На первом этапе технология будет включать:

1. В цементный силос № 1, объёмом 65 м³, цемент подаётся пневмотранспортом из силосов ж/д цеха № 7 и 8, а также может закачиваться из автотранспорта по системе цементпроводов (13, 14, 15), пережимных клапанов 9, быстросъёмных соединений 8 и вибросит 12.

2. В силосы № 2, 3, объёмом по 65 м³, добавки подаются как из цементовозов по системе цементпроводов (13, 14, 15), пережимных клапанов 9, быстросъёмных соединений 8 и вибросит 12, так и из двух растаривателей МКРов 10 двумя пневмокамерными установками 11 по системе цементпроводов (14, 15), пережимных клапанов 9.

3. Силосы оборудованы пылеулавливающим фильтром 3, аварийным клапаном 4, датчиками верхнего и нижнего уровня материала 5, системой ионных вибровентиляторов 6, ручной ножевой заслонкой 7.

4. Материал из силосов с помощью шнековых питателей 16, 17, 18, оборудованных двумя пневматическими дроссельными заслонками 19, и одной пневматической дроссельной заслонкой 20, поступает в два дозатора сухих компонентов 21 и в дозатор сухих компонентов 22 (цемент).

5. Весовые дозаторы оборудованы фильтрами 23, пневматическими вибраторами 24. Дозирование осуществляется одновременно в трёх весовых дозаторах (Поз. 21, 22). После процесса смешивания сухая тампонажная смесь из смесителя 45 разгружается в приёмный бункер 54 и шнеком 53 готовая смесь направляется на элеватор 54. С элеватора 54 готовая смесь с помощью перекидного клапана с ручным приводом 55 перенаправляется, либо (с помощью шнекового питателя 57 и двух пневматических заслонок 79) на тарировку в МКРы 66, либо на упаковочную станцию 65, или через разгрузочную течку 56 в пневмокамерный насос 67, и далее по цементопроводу 68 в силос готовой продукции 70.

6. Смеситель 45 с разгрузкой бомболука и приёмный бункер оборудованы аспирационными рукавами 47 и пылеулавливающим фильтром 46.

7. Бункер готовой продукции с установкой затаривания МКРов 66 оборудован фильтром 79, аварийным клапаном 60, индикаторами уровня 61, фильтром 59, системой аэрационных вибровентиляторов 62, ручной дроссельной заслонкой 63 и пневматической дроссельной заслонкой 64.

8. Силос готовой продукции 70 объёмом 125 м³ оборудован пылеулавливающим фильтром 71, аварийным клапаном 72, датчиками верхнего и нижнего уровня материала 73, системой аэраци-

онных вибровентиляторов 74, заслонкой дроссельной ручной 75, телескопическим разгрузочным устройством для погрузки готовой погрузки в авто и ж.д. транспорт 76.

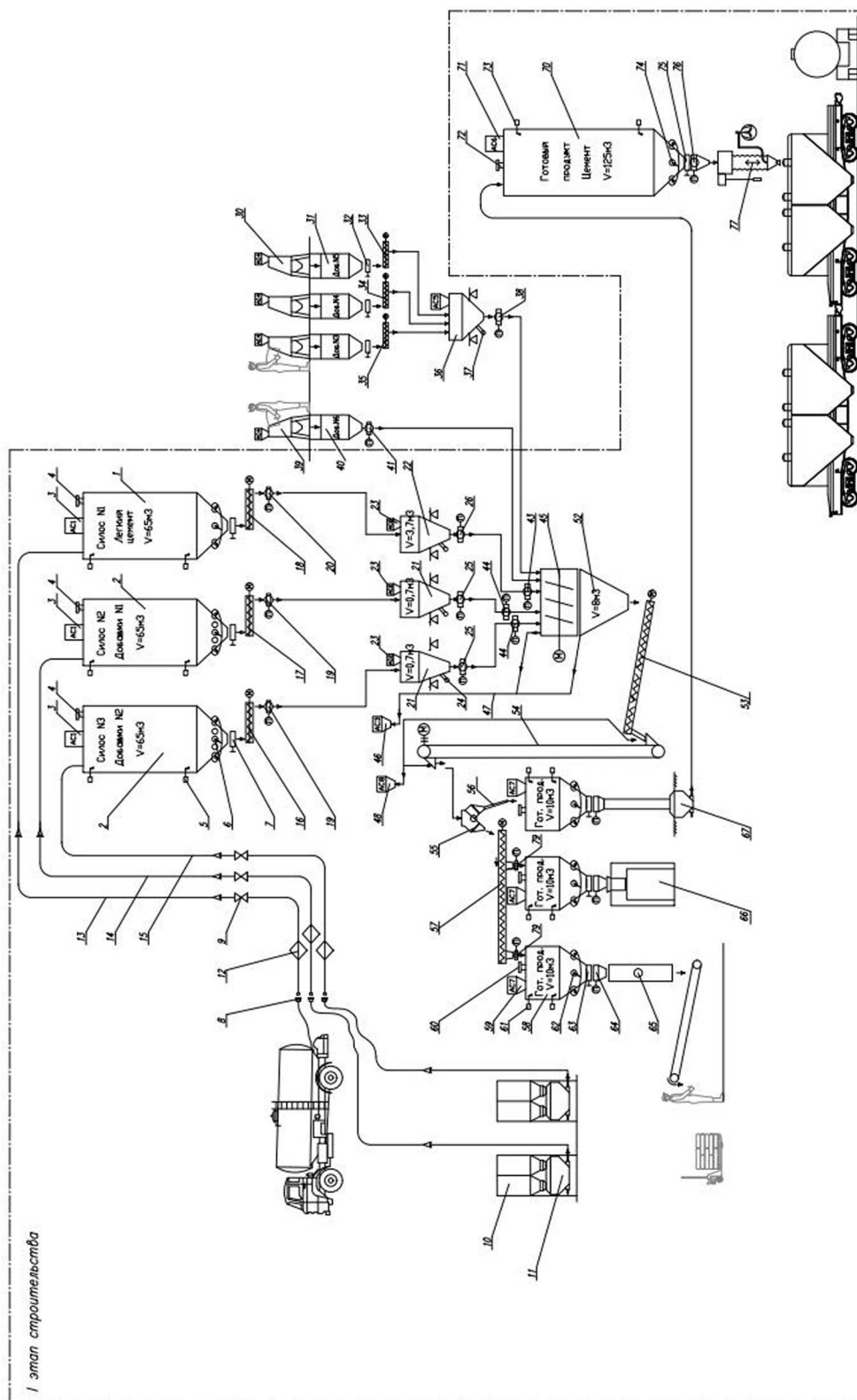


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема участка сухих смесей

На втором этапе технология будет включать:

1. При производстве сухих строительных смесей добавляется узел дозирования специальных, в том числе полимерных добавок в небольших объёмах, по сравнению с основными вяжущими компонентами, наполнителями и заполнителями.

2. Первоначально планируется применять подачу трёх видов добавок в автоматическом режиме и один вид добавки в ручном. При автоматическом режиме различные добавки технологом распределяются по трём силосам 31, оборудованными ручными дроссельными заслонками, через три растаривателя мешков со встроенной системой аспирации и приёмной воронкой 30.

Последовательно добавки поступают с помощью шнеков дозирования со взрыхлителями (33, 34, 35) в дозатор сухих добавок 36, оборудованного пневматическим вибратором 37. Одновременно дозируются основной вяжущий компонент, а при необходимости наполнители и заполнители, с помощью оборудования технологического передела позиций 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 43, 44.

При подаче добавки в ручном режиме, перед каждым циклом смешивания добавка помещается в бункер 40, оборудованного пневматической заслонкой 41, подачи материала в смеситель, через растариватель мешков со встроенной системой аспирации 39.

3. После проведения дозирования, при выгруженном смесителе 45 и закрытом бомболоке поступает сигнал на отпирание пневматической дроссельной заслонки 38, вследствие чего взвешенный материал поступает в смеситель 45. После подачи материала заслонка 38 запирается.

4. Бункера готовой продукции упаковочной линии 65 с клапанными мешками 25 – 50 кг, оборудованы фильтром 79, аварийным клапаном 60, индикаторами уровня 61, фильтром 59, системой аэрационных вибровентиляторов 62, ручной дроссельной заслонкой 63 и пневматической дроссельной заслонкой 64.

При срабатывании датчика верхнего уровня работа технологической линии по производству тампонажных смесей должна быть автоматически заблокирована, а оборудование позиций 45, 53, 54, 57 немедленно остановлено. Разрешение на возобновление работы данного передела осуществляется по сигналу датчика нижнего уровня 61.

5. При отгрузке готовой продукции в мобильные силоса поток смеси с помощью перекидного клапана с ручным приводом 55 и разгрузочной течки переводится на бункер готовой продукции пневмокамерного насоса 67, затем переводится на систему транспортирования материала в силос готовой продукции.

6. Также на втором этапе строительства при производстве сухих строительных смесей предусматривается монтаж дополнительных силосов объёмом 65 м³ для подачи в технологический процесс наполнителя или заполнителя в виде кварцевого или строительного песка.

Таким образом, введение в эксплуатацию участка сухих смесей позволит предприятию ООО «Староцементный завод» выполнить следующие задачи:

1) увеличить объёмы производства высококачественного цемента. Например, на предприятии ООО «Староцементный завод» налажен выпуск цемента для производства сухих тампонажных смесей марки ПЦТ - ОБ 5-50. Для сухих строительных смесей – цементы марок ПЦ 500-Д0, и ПЦ 550-Д0. В настоящее время ведутся работы по освоению выпуска цемента марки ПЦ 600-Д0;

2) как показывает производственная практика, объёмы выпускаемого цемента в течение года неравномерны. В период с марта по август спрос на цемент растёт, после этого идёт резкий спад, т. е. выпуск сухих смесей позволит сбалансировать пики спада и увеличения при производстве цемента.

Изучив особенности (спроса) региональных сегментов отечественных рынков сухих строительных и тампонажных смесей, можно утверждать, что внедрение комбинированного производства в цементной отрасли актуально на любом цементном заводе Российской Федерации. Это, главным образом, обусловлено возможностью цементных заводов регулировать качество готовой продукции сухих строительных и тампонажных смесей путём выпуска основного связующего компонента – цемента, обладающего требуемыми характеристиками. Таким образом, расширение ассортимента выпускаемой продукции и переориентация рынков сбыта, освоение новых видов производств с целью повышения эффективности производства позволит получить наибольшую экономическую выгоду.

Список литературы

1. Безбородо В. А. [и др.]. Сухие смеси в современном строительстве. Новосибирск: Новосиб. гос. архит.-строит. ун-т, 1998. 91 с.
2. Ботка Е. Рынок сухих строительных смесей России: итоги 2012 года и краткосрочные перспективы // Технология & бизнес на рынке сухих строительных смесей.

2013. 25 марта.

3. Луценко Н. А., Финогенов И. С., Образцов О. И. Облегчённые цементные растворы для бурения нефтяных и газовых скважин. Киев: Техніка, 1965. 67 с.

References

1. Bezborodo V. A. [i dr.]. Sukhie smesi v sovremennom stroitel'stve. Novosibirsk: Novosib. gosud. arkhит.-stroit. un-t, 1998. 91 s.

2. Botka E. Ryнок sukhikh stroitel'nykh smesei Rossii: itogi 2012 goda i kratkosrochnye perspektivy // Tekhnologiya & biznes na rynke sukhikh stroitel'nykh smesei. 2013. 25 marta.

3. Lutsenko N. A., Finogenov I. S., Obratsov O. I. Oblegchennye tsementnye rastvory dlya bureniya neftyanykh i gazovykh skvazhin. Kiev: Tekhnika, 1965. 67 s.

Статья поступила в редакцию 24.04.2014

УДК 519.6
ББК В22

Николай Васильевич Звягинцев¹,
аспирант,
Тверской государственный университет
(170100, Россия, г. Тверь, ул. Желябова, 33)
e-mail: n.zvyagintsev@gmail.com
Роман Николаевич Гордеев,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры информационных технологий,
Тверской государственный университет
(170100, Россия, г. Тверь, ул. Желябова, 33)
e-mail: roman.gordeev@mail.ru

Архитектура распределённой программной среды для теоретического исследования химических систем

Предложена архитектура распределённой программной среды для теоретического исследования химических систем. В соответствии со спецификой моделирования структуры химических соединений предлагается трёхзвенная архитектура ПО. Сформулированы требования к данному ПО – кроссплатформенность, модульность и наличие Web-интерфейсов пользователя, в качестве инструмента разработки рассматривается технология Java EE. Предполагается, что данная программная среда найдёт применение в области хемоинформатики и биоинформатики.

Ключевые слова: распределенные вычисления, программная среда, химические системы, интеллектуальные системы, интеллектуальный анализ данных.

Nikolay Vasilyevich Zvyagintsev²,
Postgraduate Student,
Tver State University
(33 Zhelyabova st., Tver, Russia, 170100)
Roman Nikolaevich Gordeyev,
Candidate of Physics and Mathematics, Associate professor,
Tver State University
(33 Zhelyabova st., Tver, Russia, 170100)
e-mail: roman.gordeev@mail.ru

Architecture of Distributed Software Environment for Theoretical Studies of Chemical Systems

Architecture of distributed software environment for theoretical studies of chemical systems has been proposed. In accordance with the specific of modeling the structure of chemical compounds the proposed architecture is based on three-tier layer software systems. The requirements for this software are: cross-platform, modularity and availability of web-user interfaces. As a tool for developing the technology of Java EE has been chosen. It is assumed that the software environment will be used in the field of bioinformatics and chemoinformatics.

Keywords: distributed computing, software environment, chemical systems, intelligent systems, data mining.

1. Введение. В настоящее время теоретические методы активно используются в химии и биологии для проведения исследований структуры и свойств химических соединений (в том числе для исследования макромолекул: белков, ДНК и т. д.) [1–2]. За прошедшие десятилетия разработано много программ для проведения исследований методами квантовой химии, молекулярной

¹Звягинцев Н. В. – основной автор, является организатором исследования, формулирует выводы и обобщает итоги реализации коллективного проекта.

²Zvyagintsev N.V. is the main author, research organizer, formulates conclusions and summarizes the results of the collective project.

механики и молекулярной динамики [2–7]. Основная особенность большинства подобных программ — консольный ввод/вывод, что существенно усложняет работу пользователя с данным ПО. Кроме того, формат входных/выходных данных большинства расчетных программ различный, поэтому определенную сложность представляет проведение комбинированных расчетов, когда исследование различных частей исследуемой системы требуется выполнить с использованием различных программных средств. С учётом того, что уже разработано большое количество расчетных программ, встает вопрос о интеграции их в единую инструментальную среду, позволяющую упростить работу пользователей с расчетными задачами без внесения изменений в уже созданные программы. Разрабатываемая инструментальная среда должна интегрировать программное обеспечение под наиболее распространенные операционные системы (ОС Windows, GNU Linux). Основной особенностью подобных расчётных задач является их ресурсозатратность. В зависимости от размера исследуемой химической системы, доступного вычислительного ресурса и выбранного приближения расчёт может занять от нескольких секунд до нескольких дней или недель. Поэтому для наибольшей эффективности программная среда должна иметь распределённую архитектуру, иметь возможность легко добавлять новые вычислительные ресурсы и распределять нагрузку между имеющимися вычислительными узлами.

2. Проблематика. Основная цель исследования состоит в том, чтобы разработать архитектуру ПО, управляющего расчётными задачами группы исследователей. ПО позволит распределять вычислительные ресурсы, синхронизировать работу, осуществлять обмен данными между задачами для комбинированных расчётных задач (например, квантовая химия + молекулярная динамика), хранить результаты в единой базе данных.

На основе анализа специфики решения расчётных задач сформулированы следующие требования к архитектуре разрабатываемой программной среды:

1. Модульность, изменение одной компоненты не требует внесения изменений в уже созданные компоненты (например, в компонент работы с базой данных). Исключение составляет переработка интерфейсов компонентов.
2. Возможность интеграции в инструментальную среду любой расчётной программы путём создания компоненты – адаптера, преобразующего интерфейс интегрируемой программы в соответствии с требованиями самой инструментальной среды.
3. Кроссплатформенность программного обеспечения.
4. Реализация базы данных для хранения результатов расчётов.
5. Поддержка языка сценариев для управления комбинированными исследованиями.
6. Простота добавления новых вычислительных узлов вне зависимости от типа операционной системы.
7. Управление вычислительными ресурсами и ходом выполнения расчётной программы.
8. Разграничение доступа к вычислительным ресурсам и результатам вычислений.
9. Отсутствие лицензионных ограничений на все компоненты разрабатываемой программной среды.

Для управления комплексными расчетами предложено использовать язык сценариев Java Script (используя библиотеку Rhino, входящую в состав Java SE), также сценарии на основе XML (*eXtensible Markup Language*).

Для работы пользователя с единой инструментальной средой предусмотрен web-интерфейс, при помощи которого можно управлять расчётом и осуществлять контроль за выполнением расчётной задачи.

Важной задачей является создание единого формата обмена данными между вычислительными программами. Предложен единый формат обмена данными, основанный на XML. Преобразование данных непосредственно в формат расчётной программы осуществляется самой средой. В качестве альтернативы единому формату обмена данными программная среда поддерживает традиционные форматы интегрируемых вычислительных программ.

Общая схема предложенной архитектуры программной среды представлена на рис. 1.

Клиент в данной архитектуре является тонким. В предлагаемой инструментальной среде клиентом может являться как Web-браузер, так и специальная программа, управляющая выполнением расчёта после соединения с сервером.

Под сервером предполагается программная платформа, состоящая из Java EE сервера приложений и сервера база данных, обеспечивающего хранение всех результатов работы инструментальной среды. На сервере приложений развёрнуты модули работы с базой данных, модули для обеспечения

web-интерфейса пользователя, а также модули, управляющие работой инструментальной среды. Схема работы сервера показана на рис. 2.

Поставщики, изображённые на рис. 1, – это компьютер или группа компьютеров, готовая предоставить вычислительный ресурс. Реализуется в виде клиентского приложения, настроенного на соответствующий сервер. При запуске поставщика на сервер передается информация о доступном вычислительном ресурсе и доступном на данном узле программном обеспечении.

Задача – запущенное из поставщика приложение для проведения расчёта (например, Games [3], Tinker [5]), управляемое поставщиком и передающее ему данные о ходе расчёта.

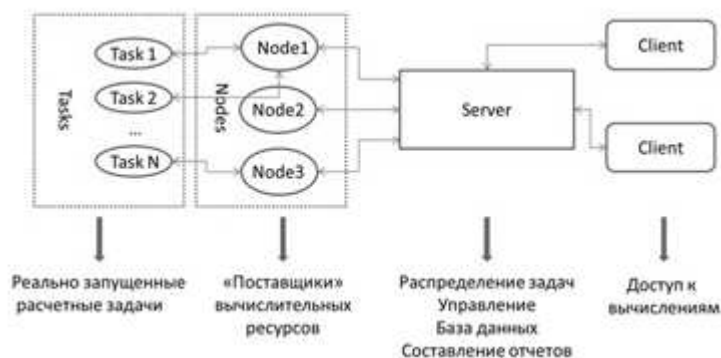


Рис. 1. Общая архитектура программной среды для теоретического исследования химических систем

На рис. 2 показана схема работы сервера. На сервере приложений расположены компоненты, которые реализуют основной функционал среды в соответствии с разработанными интерфейсами. В виде овала изображен главный компонент (ГК), который управляет работой. Это постоянная сущность, которая управляет бизнес-процессом исследования. Стрелками на рис. 2 показаны связи ГК с остальными компонентами. ГК осуществляет следующие функции:

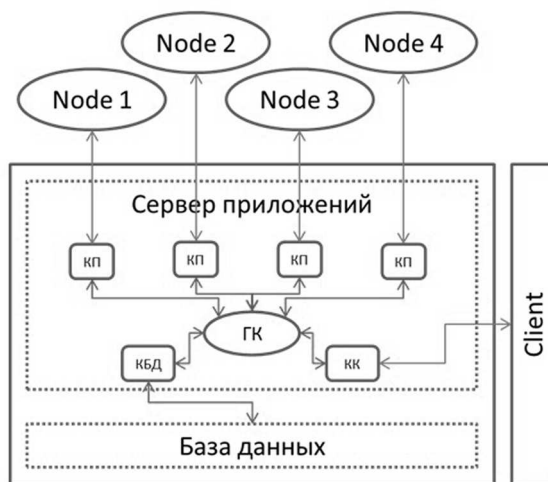


Рис. 2. Схема работы сервера

1. Регистрация новых поставщиков.
2. Отправка и получение данных при проведении расчётов.
3. Сохранение получаемой информации с поставщиков в БД через модуль работы с БД.
4. Формирование отчётов о ходе и результатах вычислений, обработка запросов клиентов.

5. Реализация бизнес-процесса при проведении серий расчётов или комбинированных расчётов.

При запуске клиентской программы на поставщике автоматически на сервере приложений появляются соответствующие компоненты поставщика (КП), через которые ГК управляет работой поставщика.

Работа с базой данных осуществляется через компонент управления БД (КБД). Стрелкой на рис. 2 обозначена связь КБД с самой базой данных. Этот компонент существует на сервере приложений постоянно и связан с остальными компонентами через ГК. В случае, если сервер связан с несколькими БД, на сервере будет существовать несколько КБД.

Компонент, обрабатывающий запросы от клиента (КК), получает доступ к МБД и поставщикам тоже через ГК. Этот компонент появляется при соединении клиента с сервером и после отключения пользователя исчезает.

Поставщик является клиентским Java-приложением, которое управляет вычислительным ресурсом на том компьютере, где он запущен. Схема работы поставщика представлена на рис. 3.

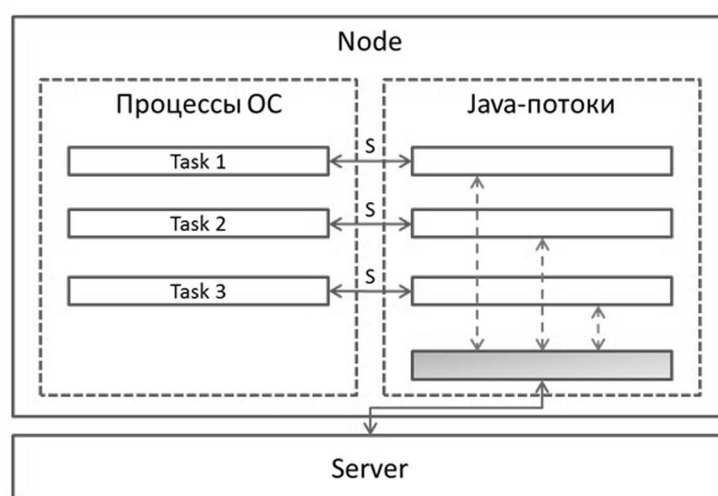


Рис. 3. Схема работы поставщика

При запуске поставщика на сервере автоматически создается КП, который регистрирует его в ГК. Поставщик реализован в виде нескольких Java-потоков: главного (который связан с сервером, на рисунке обозначен заштрихованным прямоугольником) и нескольких второстепенных, контролирующих выполнение задач. Связи между потоками обозначены пунктирной линией.

В случае, когда, если ГК принимает решение запустить на компьютере поставщика расчетную задачу, поставщик создает отдельный Java-поток, который запускает расчетную программу как процесс операционной системы (если запускается расчетная нативная программа), осуществляет контроль за её выполнением и обмен данными. Стрелками с литерой S на рис. 3 обозначен обмен данными между процессом и Java-потоком.

В качестве вспомогательного инструмента, отвечающего за представление информации о химическом строении соединений и работы с форматами данных расчетных программ, предполагается использовать фреймворк CDK [8]. Данный фреймворк представляет собой библиотеку Java-классов, позволяющих работать с 3D-структурой химических соединений, проводить анализ информации о структуре и свойствах химических соединений, а также работать с форматами данных, принятыми в хемоинформатике.

Важной задачей является визуализация результатов работы расчетных программ: 3D-структуры химических соединений, а также табличных данных, графиков и диаграмм. Для визуализации 3D-структуры предложено воспользоваться инструментом Jmol [10]. Данный инструмент можно встраивать как в графический интерфейс пользователя, так и встраивать в веб-страницу в качестве апплета. Для построения таблиц и визуализации графиков и диаграмм предложено использовать BIRT (Business Intelligence and Reporting Tools) [11].

В качестве сервера приложений предложен JBoss. В качестве системы управления базами данных предполагается использовать PostgreSQL.

3. Заключение. Предложена архитектура программной среды, позволяющая автоматизировать работу научных групп, занимающихся теоретическими исследованиями в области хемоинформатики и биоинформатики. Главное преимущество данной архитектуры — модульность, что значительно расширяет возможности и сферу применения данного ПО. Предлагаемая архитектура позволит легко интегрировать в данную среду любое расчётное ПО путём разработки компоненты-адаптера, который обеспечит интерфейс расчётной программы с самой программной средой. Предлагаемое ПО упростит работу пользователя с вычислительными программами и обеспечит использование единого формата данных. Также вычислительная среда обеспечит распределение задач между поставщиками вычислительных ресурсов.

Список литературы

1. Jensen F. Introduction to Computational Chemistry / F. Jensen. 2006. Wiley.
2. Цирельсон В. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твёрдые тела. М.: Бином, 2010. 496 с.
3. Официальный Web-сайт программы Gaussian. URL: <http://www.gaussian.com/> (дата обращения: 14.02.2014).
4. Официальный Web-сайт программы Gamess. URL: <http://www.msg.ameslab.gov/gamess/> (дата обращения: 10.02.2014).
5. Официальный Web-сайт программы Tinker. URL: <http://dasher.wustl.edu/tinker/> (дата обращения: 10.02.2014).
6. Официальный Web-сайт программы Gromacs. URL: <http://www.gromacs.org/> (дата обращения: 25.01.2014).
7. M. Valiev NWChem: a comprehensive and scalable open-source solution for large scale molecular simulations / M. Valiev, E. J. Bylaska, N. Govind, K. Kowalski, T. P. Straatsma, H. J. J. van Dam, D. Wang, J. Nieplocha, E. Apra, T. L. Windus, W. A. de Jong // Comput. Phys. Commun. 2010. Vol. 181. № 1477.
8. The Chemistry Development Kit. URL: <http://sourceforge.net/projects/cdk/> (дата обращения: 25.01.2014).
9. Официальный Web-сайт программы Jmol. URL: <http://www.jmol.org> (дата обращения: 14.02.2014).
10. Статья из Википедии. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/BIRT_Project (дата обращения: 10.02.2014).

References

1. Jensen F. Introduction to Computational Chemistry / F. Jensen 2006. Wiley.
2. Tsirel'son V. Kvantovaya Khimiya. Molekuly, molekulyarnye sistemy i tverdye tela / Tsirel'son V. M.: Binom, 2010. 469 s.
3. Oficial'nyi sait Web-sait programmy Gaussian. URL: <http://www.gaussian.com/> (data obrashcheniya: 14.02.2014).
4. Oficial'nyi sait Web-sait programmy URL: <http://www.msg.ameslab.gov/gamess/> (data obrashcheniya: 10.02.2014).
5. Oficial'nyi sait Web-sait programmy Tinker. URL: <http://dasher.wustl.edu/tinker/> (data obrashcheniya: 10.02.2014).
6. Oficial'nyi sait Web-sait programmy Gromacs. URL: <http://www.gromacs.org/> (data obrashcheniya: 25.01.2014).
7. M. Valiev NWChem: a comprehensive and scalable open-source solution for large scale molecular simulations / M. Valiev, E. J. Bylaska, N. Govind, K. Kowalski, T. P. Straatsma,

H. J. J. van Dam, D. Wang, J. Nieplocha, E. Apra, T. L. Windus, W. A. de Jong // Comput. Phys. Commun. 2010. Vol. 181. № 1477.

8. The Chemistry Development Kit. URL: <http://sourceforge.net/projects/cdk/> (data obrashcheniya: 25.01.2014).

9. Ofitsial'nyi sait Web-sait programmy Jmol. URL: <http://www.jmol.org> (data obrashcheniya: 14.02.2014).

10. Stat'ya iz Vikepedii. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/BIRT_Project (data obrashcheniya: 10.02.2014).

Статья поступила в редакцию 10.04.2014

УДК 691.53
ББК 38.33

Виктор Александрович Зеленский,
кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова
Российской академии наук
(119991, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 49)
e-mail: zelensky55@bk.ru

Сергей Фёдорович Забелин,
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул.Александро-Заводская, 30)
e-mail: s.zabelin2012@yandex.ru

Совершенствование технологии синтеза нанопорошков серебра¹

Предложена новая технология синтеза высокодисперсных порошков серебра, сочетающая принципы коллоидной химии и порошковой металлургии. Представлены результаты исследований по двум методам улучшения функциональных характеристик наночастиц. Первая модификация технологии заключается в синтезе наноразмерных порошковых прекурсоров на основе серебра путём проведения химических реакций в растворах, содержащих нитрат серебра $AgNO_3$ и цитрат натрия $Na_3C_6H_5O_7$, и их последующим разложением в водном растворе при повышенной температуре (160 °С) и давлении (около 6 атмосфер) с выделением порошка чистого серебра. Вторая модификация позволяет синтезировать высокодисперсные порошки серебра композиционного состава (имеющих фракции нанопорошка с разными по размеру частицами серебра) без использования токсичных реагентов. Синтез наночастиц серебра проводили методом жидкофазного химического осаждения из растворов солей серебра, где реактивами служили соль нитрата серебра ($AgNO_3$, х. ч.), аммиак концентрированный (25 %), аскорбиновая кислота ($C_6H_8O_6$, х. ч.). Концентрация в водном растворе $AgNO_3$ составляла 0,05 моль/л, а концентрация аскорбиновой кислоты в пределах 0,025 моль/л – 0,5 моль/л. pH изменяли от 5 до 12.

Ключевые слова: наноструктурированные материалы, нанопорошки серебра, синтез прекурсоров серебра, восстановление нанопорошка серебра, метод осаждения из растворов, синтез композиционного порошка серебра, бимодальная структура материала.

Victor Aleksandrovich Zelensky,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher,
Metallurgy and Materials Science Institute named after A. A. Baykov
the Russian Academy of Science
(49 Leninsky Ave, Moscow, Russia, 119991)
e-mail: aleksander.galakhov@yandex.ru

Sergey Fyodorovich Zabelin,
Doctor of Technical Sciences,
Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: s.zabelin2012@yandex.ru

Improvement of Synthesis Technology of Silver Nanopowders²

The new synthesis technology of high-disperse silver powders, combining the principles of colloidal chemistry and powder metallurgy is offered. Results of researches on two methods of improvement of functional characteristics of nanoparticles are presented. The first modification

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-08-00124-а).

²The research is performed with the financial support of RFFR (project №12-08-00124-а).

of technology consists in synthesis of nanodimensional powder precursors on the basis of silver by carrying out chemical reactions in the solutions containing nitrate of $AgNO_3$ silver and citrate of $Na_3C_6H_5O_7$ sodium, and their subsequent decomposition in water solution at an increased temperature (160 °C) and pressure (about 6 atmospheres) with allocation of powder of pure silver. The second modification allows to synthesize high-disperse powders of silver of composite structure (having nanopowder fractions with particles of silver different in the size) without use of toxic reagents. Synthesis of nanoparticles of silver carried out a method of liquid-phase chemical sedimentation from solutions of salts of silver where as reactants served salt of nitrate of silver ($AgNO_3$, х. ч.) ammonia concentrated (25 %), ascorbic acid ($C_6H_8O_6$, х. ч.) Concentration in water $AgNO_3$ solution made 0,05 mol/l, and concentration of ascorbic acid within 0,025 mol/l – 0,5 mol/l. pH changed from 5 to 12.

Keywords: the nanostructured materials, silver nanopowders, synthesis of precursors of silver, restoration of nanopowder of silver, sedimentation method from solutions, synthesis of composite powder of silver, bimodal structure of a material.

Введение. Дисперсно-упрочнённые наноструктурированные электроконтактные материалы на основе серебряных порошков востребованы современной промышленностью (их использование имеет двойное назначение – электротехника, электроника и ОПК). Но существующие технологии синтеза высокодисперсных nanopорошков серебра имеют ряд серьезных недостатков: технологические, экологические и экономические [1; 2]. Поэтому проблема совершенствования технологии синтеза nanopорошков серебра на сегодня остается актуальной.

Наиболее эффективной технологией синтеза nanopорошков можно считать двухстадийный метод синтеза: на первой стадии получают наноразмерные порошковые прекурсоры, вторая стадия заключается в восстановлении полученных прекурсоров серебра в газовых средах, в разложении прекурсоров в растворах или жидкофазного химического осаждения из растворов солей серебра [2–4].

Используемые методы синтеза, условия их осуществления в значительной степени влияют на многие свойства образующихся частиц: электронную структуру и состояние поверхности, устойчивость и характер взаимодействия со средой, и, следовательно, на их поведение при приготовлении более сложных структур. Часто для получения зародышей наноструктур применяют методы, основанные на восстановлении ионов металлов в водных растворах в присутствии высокомолекулярных соединений и ПАВ в качестве стабилизаторов [5], и приёмы испарения и конденсации металлов. Морфология образующихся продуктов в большой степени зависит от выбора восстановителя и условий проведения реакции. В связи с быстрым ростом объёмов синтеза всё более важной становится задача применения экологически безопасных реагентов.

Так, широко применяемый для получения наночастиц благородных металлов боргидрид натрия весьма токсичен [6]. Такие реагенты, как глюкоза или аскорбиновая кислота являются экологически безопасными и биологически совместимыми веществами, однако для синтеза наночастиц серебра использовались редко. В частности, в работе [7] синтезировали наночастицы серебра размером менее 10 нм при восстановлении D-глюкозой в присутствии крахмала с помощью микроволнового излучения. В работе [8] предложена методика получения сферических частиц серебра в автоклаве восстановлением глюкозой в щелочной среде с использованием ПВП при 180 °C и получены наночастицы серебра размером примерно 80 нм. В работе [9] были получены частицы размером от 25 до 450 нм при восстановлении аммиачного комплекса серебра с помощью глюкозы, галактозы, мальтозы и лактозы при комнатной температуре, для активации восстановления использовали гидроксид натрия. Во всех упомянутых способах получают коллоидные растворы наночастиц серебра, которые требуют продолжительной и тщательной отмывки от побочных продуктов реакции из-за плохой фильтруемости и применения сложного оборудования.

В нашей работе при исследовании и аттестации синтезированных nanopорошков серебра и комбинированных порошков экспериментальные данные о составе, дисперсности (удельная поверхность, средний размер частиц) и форме частиц были выявлены с применением методов рентгенофазового анализа (РФА), который проводили на рентгеновском дифрактометре типа ДРОН-3,0, растровой электронной микроскопии (РЭМ) и химического анализа.

1. Восстановление органических прекурсоров серебра в растворах. Основываясь на результатах наших предшествующих исследований [2–4] проведены исследования по модификации

двухстадийного метода синтеза нанопорошков серебра. Модифицированный метод заключается в синтезе наноразмерных порошковых прекурсоров на основе серебра путём проведения химических реакций в растворах, содержащих нитрат серебра $AgNO_3$ и цитрат натрия $Na_3C_6H_5O_7$, и их последующим разложением в водном растворе при повышенной температуре и давлении с выделением порошка чистого серебра. Таким образом, на второй стадии процесса применённое ранее восстановление прекурсоров в водородо-азотной атмосфере [3; 4] было заменено на разложение в жидкой среде. Порошковые прекурсоры серебра состава $C_6H_5Ag_3O_7$ готовили разработанным на предыдущем этапе методом [3], при этом применяли повышенные концентрации растворов. Далее прекурсоры подвергали разложению в растворе дистиллированной воды при температуре $160\text{ }^\circ\text{C}$. Для сохранения воды в жидком агрегатном состоянии восстановление проводили при повышенном давлении (около 6 атмосфер) в газоплотном подогреваемом сосуде (схема установки на рис. 1), внутри которого вода и водяной пар находились в фазовом равновесии [10].

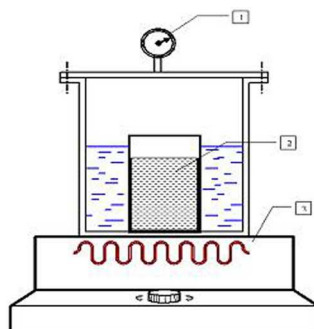


Рис. 1. Установка для термической обработки прекурсора в условиях повышенного давления:
1 – манометр; 2 – раствор прекурсора; 3 – нагреватель

Время обработки прекурсоров в восстановительном сосуде варьировалось от 5 до 60 мин. Рентгеновские исследования показали, что восстановление происходит уже при 10-минутной обработке. Внешний вид полученного порошка на рис. 2. Увеличение времени обработки приводит к слипанию частиц и образованию крупных агломератов (рис. 3).

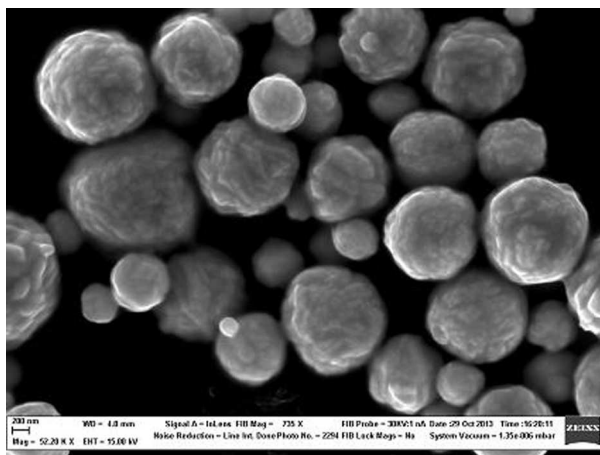


Рис. 2. Порошок, полученный разложением при $160\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 10 минут

Вакуумное восстановление порошков оксида серебра. Была предпринята попытка вакуумного восстановления нанопорошка Ag_2O при комнатной температуре. Выбор такого варианта основывался на анализе диаграммы термостабильности серебра и оксидов серебра (рис. 4) [11; 12]. При нагреве оксида серебра Ag_2O при атмосферном давлении выше температуры $462,8\text{ K}$ происходит

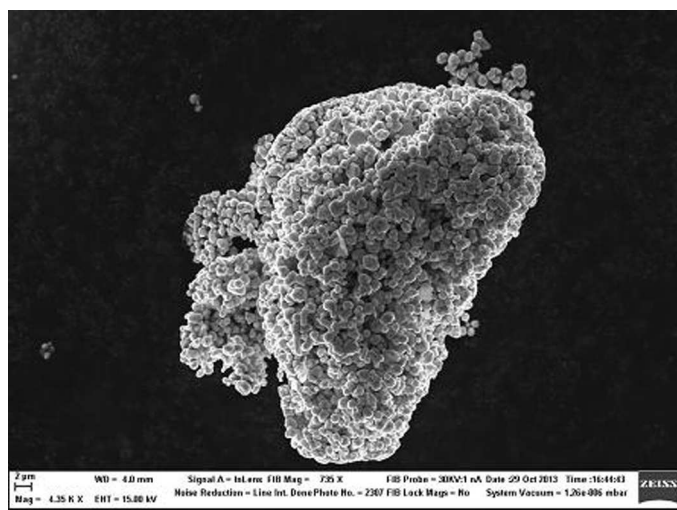


Рис. 3. Агломерат, полученный разложением при 160 °С в течение 60 минут

восстановление до металла, что, как известно, используется в производственных процессах. При понижении давления в соответствии с диаграммой снижается и температура разложения оксида серебра. Ожидалось, что оксид серебра в вакуумной атмосфере может разложиться с выделением порошка серебра в высокодисперсном состоянии даже при комнатной температуре.

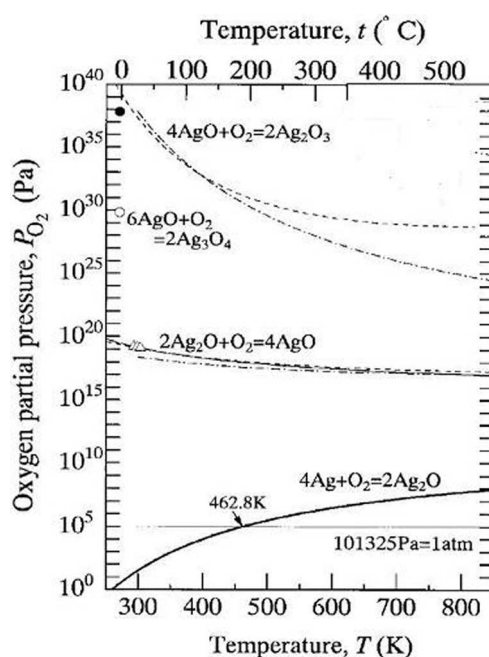


Рис. 4. Диаграмма термостабильности серебра и оксидов серебра

Однако проведённые исследования показали, что при продолжительности нахождения порошка оксида серебра в вакууме до 20 часов при комнатной температуре не наблюдается масштабного выделения металлического серебра. Не происходило этого и при повышении температуры до 373 К. Рентгеновский анализ не выявил присутствия металлического серебра. Однако исследования порошков с применением оптической микроскопии показали, что по сравнению с исходным порошком оксида Ag_2O в порошках, подвергнутых вакуумной обработке, наблюдаются металлические блестящие. Это свидетельствует о принципиальной возможности применения метода вакуумного разложения для получения порошков серебра из порошков оксидов. В наших экспериментах с ограниченным

временем вакуумной обработки, по-видимому, серебро синтезировалось в столь малых количествах, что оказалось ниже порога чувствительности рентгенофазового метода (принято считать, что фаза обнаруживается РФА анализом, если она присутствует в количестве 3 %).

2. Синтез высокодисперсных порошков серебра композиционного состава. Уникальные свойства наночастиц возникают в результате размерного эффекта, который выступает в качестве главного структурного фактора для частицы. При этом происходит изменение базовых физических свойств, сопровождающее суперминиатюризацию. Эффективность выполнения различных функций, к примеру, активность катализаторов, также возрастает благодаря наноразмерному эффекту. Однако с повышением поверхностной энергии наночастиц в силу размерного эффекта заметно повышается и когезия наночастиц, а сильное когезионное сцепление ухудшает характеристики наночастиц при их использовании. Одним из методов, улучшающих эксплуатационные характеристики наночастиц, является применение комбинированных структур, таких как модифицированные композиции с использованием наночастиц разного размера. Создание композитных структур снижает когезию наночастиц, обеспечивая их беспрепятственное применение. Кроме того, композитные структуры, создаваемые из нескольких видов наночастиц, могут сочетать в себе несколько функций, приобретать новые функции в результате комбинирования функций наночастиц.

В настоящей работе предлагается простой способ синтеза высокодисперсных осадков серебра композиционного состава без использования токсичных реагентов. Синтез наночастиц серебра проводили методом жидкофазного химического осаждения из растворов солей серебра. Реактивами служили соль нитрата серебра ($AgNO_3$, х. ч.), аммиак концентрированный (25 %), аскорбиновая кислота ($C_6H_8O_6$, х. ч.) Концентрация в водном растворе $AgNO_3$ составляла 0,05 моль/л, а концентрация аскорбиновой кислоты варьировалась в пределах 0,025 моль/л – 0,5 моль/л, pH изменяли от 5 до 12.

В химических стаканчиках готовили водные растворы нитрата серебра (R1) и аскорбиновой кислоты (R2) заданных концентраций. Объём растворов был одинаковый – 10 мл. В реакционный сосуд при комнатной температуре вводился раствор R1, затем при непрерывном перемешивании со скоростью 1,3 мл/мин вводился раствор R2, pH растворов доводили до заданных значений с помощью раствора аммиака. Полученные растворы обрабатывали в микроволновой печи в течение 10 мин при мощности 600 Вт. Микроволновое излучение обеспечивает быстрый и равномерный нагрев всего объёма реакционного раствора, что приводит к получению наночастиц наименьшего размера и одинаковой формы. Далее осадок отделяли от надосадочной жидкости и промывали на воронке Бюхнера дистиллированной водой до pH=7. Сушка порошков проводилась на воздухе. После синтеза образцы порошков подвергались электронно-микроскопическому и химическому анализам.

Растворы аскорбиновой кислоты по отношению к раствору нитрата серебра брались в эквимольных и избыточных количествах. При восстановлении эквимольными количествами аскорбиновой кислоты в случае 0,02; 0,03; 0,2; 0,1 М растворов образуется золь без осадка. Для оптимизации процесса стадию образования золя необходимо исключить, что возможно когда количество восстановителя значительно превышает количество главного реагента [13]. При осаждении избытком аскорбиновой кислоты осадок образуется практически в любом случае, исключая растворы с концентрацией 0,02 и 0,03 М. В этом случае осадок, образовавшийся при слиянии компонентов, через некоторое время растворяется и переходит в коллоидный раствор. В результате экспериментально установлено, что при 10-кратном избытке восстановителя образуются осадки серого цвета, достаточно легко отделяемые от маточного раствора. По данным РФА полученные порошки являются металлическим серебром. Рентгенограмма представлена на рис. 5, а микрофотография порошка показана на рис. 6.

При данном способе получения нанопорошков серебра весьма выражены процессы агломерации, но они в значительной степени управляемы. Заметное влияние на них оказывают соотношение концентраций исходных компонентов и условий проведения процесса восстановления.

С целью оценки влияния концентраций восстановителя аскорбиновой кислоты на морфологию и размер частиц серебра проведён ряд экспериментов. Анализ микрофотографий частиц серебра, полученных при различных значениях концентраций восстановителя (рис. 7 и рис. 8), показал, что при концентрациях более 0,4М наблюдается увеличение размера частиц серебра за счёт их агрегации.

При исследовании влияния pH в интервале 5–12, установлено, что увеличение pH раствора до 8–9,5 приводит к увеличению и агрегированию частиц серебра, а при $pH \geq 9,5$ появляются частицы

с огранкой. Это видно на рис. 9 и рис. 10. Поэтому оптимальное, на наш взгляд, значение $pH=7,5$.

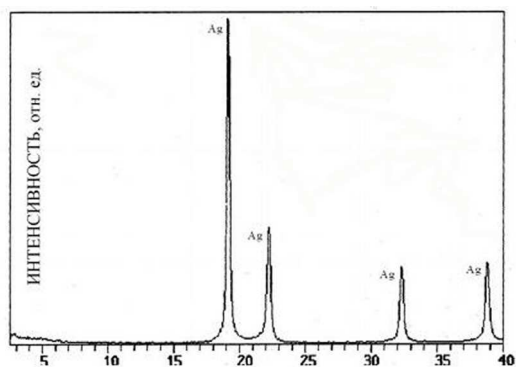


Рис. 5. Рентгенограмма полученного порошка серебра

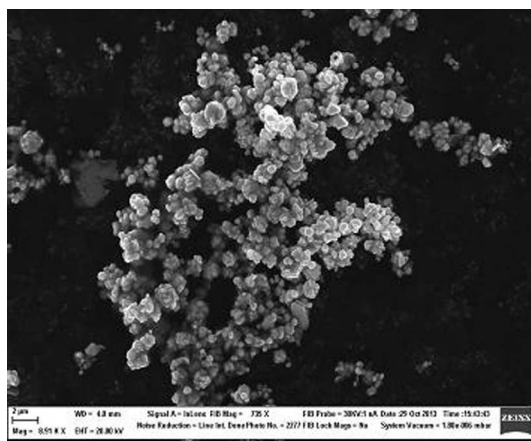


Рис. 6. Микрофотография наночастиц серебра в растровом электронном микроскопе

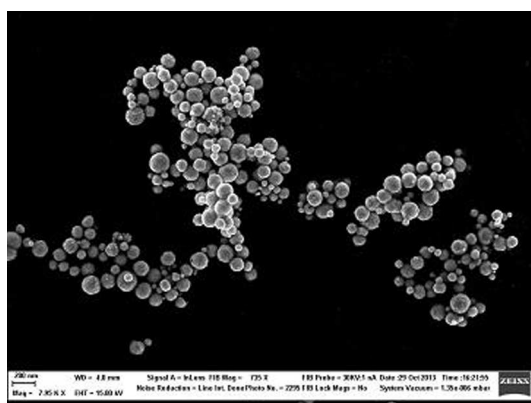


Рис. 7. Микрофотография наночастиц серебра, полученных при концентрации 0,2 моль/л раствора восстановителя

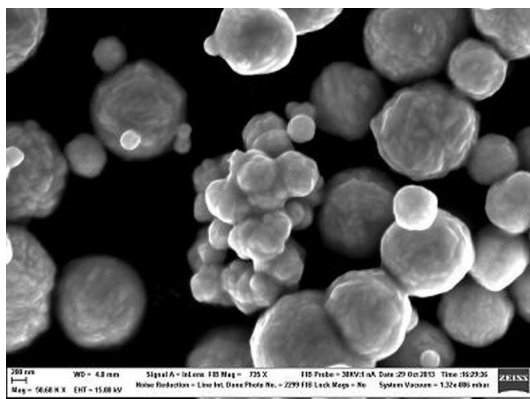


Рис. 8. Микрофотография наночастиц серебра, полученных при концентрации 0,5 моль/л раствора восстановителя

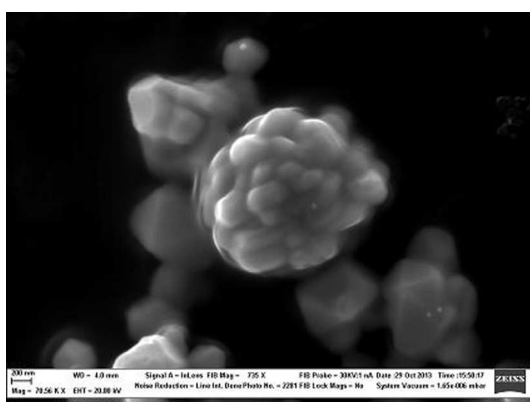


Рис. 9. Микрофотография наночастиц серебра, полученных при концентрации 0,4 моль/л раствора восстановителя и $\text{pH} = 8,5$

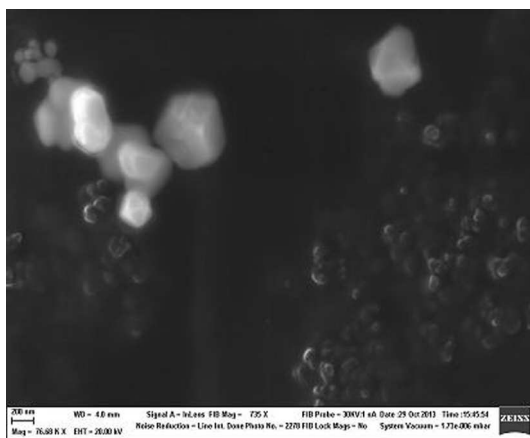


Рис. 10. Микрофотография наночастиц серебра, полученных при концентрации 0,4 моль/л раствора восстановителя и $\text{pH} = 9,5$

В определённых нами оптимальных условиях синтеза были получены порошки композиционного материала, состоящего из разных по размеру частиц серебра. Для этого были приготовлены растворы нитрата серебра и аскорбиновой кислоты заданных концентраций: (AgNO_3) – 0,05 моль/л; ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) – 0,4 моль/л. Раствор аскорбиновой кислоты разделили на 2 части и разлили по разным стаканчикам. В одном стаканчике часть раствора, а в другом – 3/4 части раствора. Далее в раствор азотнокислого серебра при одновременном его перемешивании, капельно, через трубочки подавался

раствор аскорбиновой кислоты из обоих стаканчиков. Внутренний диаметр трубочек имеет разное сечение, благодаря чему удается получать капли раствора разного размера, pH поддерживали на уровне 7,5, а затем была проведена обработка при микроволновом излучении в течение 10 мин при мощности 600 Вт. Охлаждали раствор при комнатной температуре и промывали дистиллированной водой до pH = 7. Сушили на воздухе. Полученные порошки серебра исследовались методами РФА, РЭМ и химического анализа. Результаты РЭМ представлены на рис. 11.

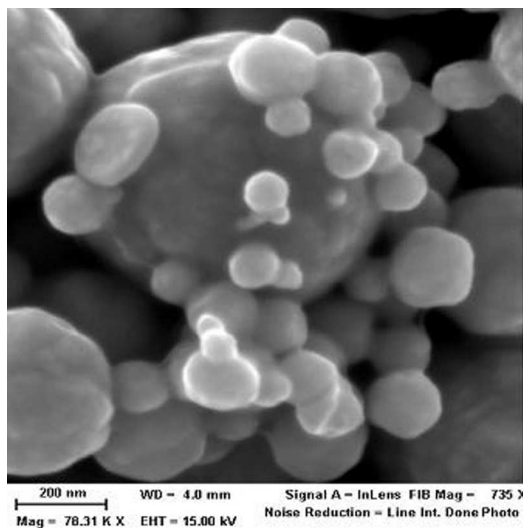


Рис. 11. Микрофотография композиционного порошка серебра, полученного при концентрации 0,4 моль/л раствора восстановителя и pH = 7,5 при капельном введении раствора восстановителя

Статистическая обработка размеров частиц полученного порошка выявила бимодальный характер гранулометрического распределения. Крупные частицы полученного композиционного порошка имеют размер в диапазоне 0,6–1,0 мкм (средний размер составляет около 0,8 мкм). Мелкие наночастицы имеют размеры до 150 нм, но основная их часть это частицы диаметром от 80 до 100 нм.

Выводы. Разработана новая методика синтеза высокодисперсных порошков серебра композиционного состава без использования токсичных реагентов. При восстановлении органических прекурсоров серебра в растворах использовали порошковые прекурсоры серебра состава $C_6H_5Ag_3O_7$. Их подвергали разложению в растворе дистиллированной воды при температуре 160 °С при повышенном давлении (около 6 атмосфер). Рентгеновские исследования показали, что восстановление происходит уже при 10-минутной обработке. Увеличение времени обработки приводит к слипанию частиц и образованию крупных агломератов. Синтез композиционного порошка серебра проводили методом жидкофазного химического осаждения из растворов солей серебра, используя растворы реактивов высокой концентрации. Растворы аскорбиновой кислоты по отношению к раствору нитрата серебра брались в эквимолярных и избыточных количествах.

Увеличение pH раствора от 8 до 9,5 приводит к увеличению и агрегированию частиц серебра, а при $pH \geq 9,5$ появляются частицы с огранкой. Оптимальное значение pH = 7,5. Применяли растворы нитрата серебра и аскорбиновой кислоты следующих концентраций: ($AgNO_3$) – 0,05 моль/л; ($C_6H_8O_6$) – 0,4 моль/л. Полученные растворы обрабатывали в микроволновой печи в течение 10 мин. Для аттестации синтезированных нанопорошков серебра и комбинированных порошков использовали методы РФА, РЭМ и химического анализа. Статистическая обработка размеров частиц полученного порошка выявила бимодальный характер гранулометрического распределения. Крупные частицы композиционного порошка имеют размер в диапазоне 0,6–1,0 мкм (средний размер составляет около 0,8 мкм). Мелкие наночастицы имеют размеры до 150 нм, но основная их часть – это частицы диаметром от 80 до 100 нм.

Список литературы

1. Крутяков Ю. А., Кудринский А. А. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы // *Успехи химии*. 2008. Т. 77. № 3. С. 243–245.
2. Зеленский В. А. [и др.] Получение нанопорошка серебра с частицами пластинчатой формы // *Физика и химия обработки материалов* 2013. №1. С. 65–68.
3. Зеленский В. А., Анкудинов А. Б., Трегубова И. В., Забелин С. Ф. Получение пористого материала из порошков серебра // *Учёные записки ЗабГУ. Сер. «Физика, математика, техника, технология»*. 2013. № 3 (50). С. 35–42.
4. Альмов М. И., Зеленский В. А., Трегубова И. В., Анкудинов А. Б. Метод получения нанопорошков серебра водородным восстановлением металлоорганических прекурсоров: материалы Международ. науч.-тех. конф. «Нанотехнологии функциональных материалов». СПб.: Политехнический ун-т. 2012. С. 361–362.
5. Meng C., Li-Ying, Jian-Tao Han, Jun-Yan Zhang, Zhi-Yuan Li, Dong-Lin Qian. Preparation and Study of Polyacryamide-Stabilized Silver Nanoparticles through a One-Pot Process // *Journal of Fudan University*. 2006. Vol. 45. № 17. P. 34–38.
6. Мецлер Д. Биохимия. Химические реакции в живой клетке. М.: Мир, 1980. 384 с.
7. Raveendran P., Jie Fua, Scott L. Wallen. A simple and "green" method for the synthesis of Au, Ag, and Au-Ag alloy nanoparticles // *Journal of The Royal Society of Chemistry*. 2006. Vol.12. № 8. P. 34–38.
8. Sun X., Li Y. *Ag₂C Core/ Shell Structured Nanoparticles: Controlled Synthesis, Characterization and Assembly*. Langmuir. 2005. Vol. 45. № 21. P. 6019–6024.
9. Panacek A. L., Kvirtek R., Prucek M., Kolarř R., Vecerova N., Pizurova, V.K.Sharma, T. Nevecna, R. Zboril. Silver Colloid Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Their Antibacterial Activity // *Journal of American Chemical Society*. 2006. Vol. 26. № 16. P. 37–43.
10. Волков А. И., Жарский И. М. Большой химический справочник. М.: Современная школа, 2005. 608 с.
11. Fischer and M. Jansen Cyclic Voltammetry and X-ray Diffraction Study of Anodic Crystallization of Highly Oxidized Silver Oxide, Solid State Ionics. 1990. P. 61–67.
12. Ryosuke O. Suzuki, Takamichi Ogawa, and Katsutoshi Ono. Use of Ozone to Prepare Silver Oxides . *J. Am. Ceram. Soc.* 1999. V.82 (8). P. 2033–2038.
13. Галахов А. В. [и др.]. Жидкофазный синтез оксинитрида алюминия // *Учёные записки ЗабГУ. Сер. «Физика, математика, техника, технология»*. 2013. № 3 (50). С. 22–28.

References

1. Krutyakov Yu. A., Kudrinskii A. A. Sintez i svoistva nanochastits serebra: dostizheniya i perspektivy // *Uspekhi khimii*. 2008. T. 77. № 3. S. 243–245.
2. Zelenskii V. A. [i dr.]. Poluchenie nanoporoshka serebra s chastitsami plastinchatoi formy // *Fizika i khimiya obrabotki materialov* 2013. № 1. S. 65–68.
3. Zelenskii V. A., Ankudinov A. B., Tregubova I. V., Zabelin S. F. Poluchenie poristogo materiala iz poroshkov serebra // *Uchenye zapiski ZabGU. "Ser. Fizika, matematika, tekhnika, tekhnologiya"*. 2013. № 3 (50). S. 35–42.
4. Alymov M. I., Zelenskii V. A., Tregubova I. V., Ankudinov A. B. Metod polucheniya nanoporoshkov serebra vodorodnym vosstanovleniem metalloorganicheskikh prekursorov: materialy Mezhdunarod. nauch.-tekhn. konf. „Nanotekhnologii funktsional'nykh materialov“. SPb.: Politekhnikeskii un-t. 2012. S. 361–362.
5. Meng C., Li-Ying, Jian-Tao Han, Jun-Yan Zhang, Zhi-Yuan Li, Dong-Lin Qian. Preparation and Study of Polyacryamide-Stabilized Silver Nanoparticles through a One-Pot Process // *Journal of Fudan University*. 2006. Vol. 45. № 17. P. 34–38.

6. Metsler D. Biokhimiya. Khimicheskie reaktsii v zhivoi kletke. M.: Mir, 1980. 384 s.
7. Raveendran P., Jie Fua, Scott L. Wallen. A simple and „green“ method for the synthesis of Au, Ag, and Au–Ag alloy nanoparticles // Journal of The Royal Society of Chemistry. 2006. Vol. 12. № 8. P. 34–38.
8. Sun X., Li Y. Ag_2C Core/ Shell Structured Nanoparticles: Controlled Synthesis, Characterization and Assembly. Langmuir. 2005, Vol. 45, №21, P. 6019–6024.
9. Panacek A. L. Kvirtek R. Pucek M. Kolarř R. Vecerova N. Pizurova, V.K.Sharma, T. Nevecna, R. Zboril. Silver Colloid Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Their Antibacterial Activity // Journal of American Chemical Society. 2006. Vol. 26. № 16. P. 37–43.
10. Volkov A. I., Zharskii I. M. Bol'shoi khimicheskii spravochnik. M.: Sovremennaya shkola, 2005. 608 s.
11. Fischer and M. Jansen Cyclic Voltammetry and X-ray Diffraction Study of Anodic Crystallization of Highly Oxidized Silver Oxide, Solid State Ionics. 1990. P. 61–67.
12. Ryosuke O. Suzuki, Takamichi Ogawa, and Katsutoshi Ono. Use of Ozone to Prepare Silver Oxides . J. Am. Ceram. Soc. 1999. V.82 (8). P. 2033–2038.
13. Galakhov A. V. [i dr.]. Zhidkofaznyi sintez oksinitrida alyuminiya // Uchenye zapiski ZabGU. Ser. „Fizika, matematika, tekhnika, tekhnologiya“. 2013. № 3 (50). S. 22–28.

Статья поступила в редакцию 10.05.2014

УДК 669.018.25; 534.08; 534.8
ББК К.34

Игорь Евгеньевич Калашиников,
доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,
Институт металлургии и материаловедения
им. А. А. Байкова Российской академии наук
(119991, Россия, г. Москва, Ленинский просп., 49)
e-mail: kalash2605@mail.ru

Людмила Константиновна Болотова,
старший научный сотрудник,
Институт металлургии и материаловедения
им. А. А. Байкова Российской академии наук
(119991, Россия, г. Москва, Ленинский просп., 49)
e-mail: ludbol@bk.ru

Любовь Ивановна Кобелева,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
старший научный сотрудник,
Институт металлургии и материаловедения
им. А. А. Байкова Российской академии наук
(119991, Россия, г. Москва, Ленинский просп., 49)
e-mail: likob@mail.ru

Наталья Борисовна Подымова,
кандидат физико-математических наук,
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
(119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2,)
e-mail: prodymova@mail.ru

Александр Алексеевич Карабутов,
доктор физико-математических наук, профессор
(119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 62)
e-mail: aak@ilc.edu.ru

Применение лазерного оптико-акустического метода для определения упругих модулей металломатричных композиционных материалов, модифицированных тугоплавкими наночастицами

Предложен и экспериментально реализован лазерный оптико-акустический метод измерения упругих модулей изотропных алюмоматричных композиционных материалов. Метод основан на измерении фазовых скоростей термооптически возбуждаемых импульсов продольных и сдвиговых акустических волн в исследуемых образцах. Композиционные образцы были изготовлены методом реакционного литья с замешиванием в расплав алюминия микрочастиц титана и наночастиц синтетического алмаза.

Ключевые слова: алюмоматричные композиционные материалы, реакционное литье, микро- и наноразмерные частицы, микроструктура, лазерный оптико-акустический метод, продольные и сдвиговые акустические волны, упругие модули.

Igor Evgenyevich Kalashnikov,
Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher,
Metallurgy and Materials Science Institute named after A. A. Baykov
the Russian Academy of Science
(49 Leninsky Avenue, Moscow, Russia, 119991)
e-mail: kalash2605@mail.ru

Lyudmila Konstantinovna Bolotova,
Senior Researcher,
Metallurgy and Materials Science Institute named after A. A. Baykov
the Russian Academy of Science
(49 Leninsky Avenue, Moscow, Russia, 119991)
e-mail: ludbol@bk.ru

Lyubov Ivanovna Kobeleva,
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Metallurgy and Materials Science Institute named after A. A. Baykov
the Russian Academy of Science
(49 Leninsky Avenue, Moscow, Russia, 119991)
e-mail: likob@mail.ru

Natalia Borisovna Podymova,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
The Moscow State University named after M. V. Lomonosov
(p. 2 Leninskiye Gory, 1, Moscow, Russia, 119991)
e-mail: npodymova@mail.ru

Alexander Alekseyevich Karabutov,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
The Moscow State University named after M. V. Lomonosov
(p. 62 Leninskiye Gory, 1, Moscow, Russia, 119991)
e-mail: aak@ilc.edu.ru

Application of Laser Optoacoustic Method for the Study of Elastic Modules of Metal Matrix Composite Materials, Modified by Refractory Nanoparticles

The laser optoacoustic method of elastic modules measurement of isotropic aluminum matrix composites is proposed and experimentally realized. The method is based on measurements of phase velocities of thermooptically excited pulses of longitudinal and shear acoustic waves in samples under study. The composite samples were manufactured by reactive cast of aluminum with titanium microparticles and nanoparticles of synthetic diamond mixed into the melt.

Keywords: aluminum-matrix composite materials, reaction casting, micro- and nanosized particles, microstructure, laser opto-acoustic method, longitudinal and shear acoustic waves, elastic moduli.

Проблема неразрушающего контроля композиционных материалов (КМ) по фактическому состоянию является весьма актуальной, поскольку дефекты и изменения структуры материала, возникающие при изготовлении и в процессе эксплуатации изделий, могут существенно влиять на их свойства. Например, в процессе старения материала уменьшение упругих модулей может составлять до 15–20 % [3]. Поэтому разработка оперативных неразрушающих методов, позволяющих контролировать локальные изменения прочностных характеристик материала не только в процессе изготовления, но и при эксплуатации изделий, имеет большое научно-практическое значение, в частности, для определения остаточного ресурса деталей или изделий.

Целью настоящей работы является разработка и реализация лазерного оптико-акустического метода измерения упругих модулей гетерофазных композиционных материалов. Метод основан на лазерном термооптическом механизме возбуждения ультразвука [1], измерении фазовых скоростей продольных и сдвиговых акустических волн в образцах и расчёте модулей Юнга, сдвига и коэффициента Пуассона согласно теории упругости. Основное преимущество лазерного оптико-акустического метода перед традиционными ультразвуковыми методиками, использующими пьезоэлектрические излучатели [4], заключается в возможности эффективного возбуждения коротких

и мощных зондирующих ультразвуковых импульсов, необходимых для достоверной диагностики сильно поглощающих и рассеивающих звук композиционных материалов.

Принцип работы лазерной оптико-акустической системы схематически показан на рис. 1. Лазерный импульс поглощается в специальном оптико-акустическом (ОА) источнике, что приводит к неоднородному нестационарному нагреву приповерхностного слоя и возникновению в нём механических напряжений. При этом в ОА источнике возбуждается импульс давления – ультразвуковой импульс продольных акустических волн (ОА сигнал). При использовании импульсных лазеров с модуляцией добротности амплитуда ОА сигналов может достигать десятков мегапаскалей, а их спектр простирается от долей до сотен мегагерц. Таким образом, импульсный оптико-акустический эффект позволяет получать мощные широкополосные ультразвуковые сигналы, применение которых в системах ультразвуковой неразрушающей диагностики и контроля композиционных материалов представляется весьма перспективным.

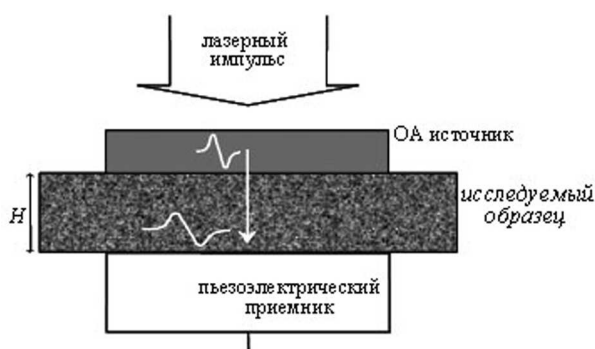


Рис. 1. Принцип работы лазерной оптико-акустической системы

В настоящей работе используется излучение импульсного Nd:YAG-лазера с модуляцией добротности (длина волны излучения 1,064 мкм, длительность импульса $10 \div 12$ нс, энергия в импульсе $10 \div 15$ мДж). При поглощении лазерного импульса в специальном ОА источнике, представляющем собой плоскопараллельную пластину из оптического стекла СЗС-22, в нём возбуждается ультразвуковой импульс продольных акустических волн – опорный импульс. Этот импульс распространяется в исследуемом образце и регистрируется широкополосным пьезоприемником, находящимся в акустическом контакте с образцом. Для обеспечения такого контакта ОА источник, образец и пьезоприемник разделяются слоями иммерсионной жидкости (дистиллированной воды). Локальность тестирования в латеральном направлении определяется поперечным размером излучаемого ультразвукового пучка, совпадающего с характерным диаметром лазерного пучка. Основные характеристики лазерной оптико-акустической системы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики лазерной оптикоакустической системы

Рабочий частотный диапазон	$0,2 \div 50$ МГц
Амплитуда давления ультразвуковых импульсов	$0,001 \div 10$ МПа
Толщина исследуемых образцов	$0,1 \div 70$ мм
Локальность тестирования в поперечном направлении	$1 \div 2$ мм

На рис. 2 показан пример временной формы опорного ультразвукового импульса и импульса, прошедшего через образец алюмоматричного композита [2].

При отсутствии существенной дисперсии абсолютное значение фазовой скорости продольных акустических волн в исследуемом образце определяется как:

$$c_L = \frac{2H}{\Delta T_L}, \quad (1)$$

где ΔT_L – разность времён прихода на пьезоприемник ультразвукового импульса, однократно прошедшего образец, и опорного импульса ОА источника. Интервал ΔT_L измеряется по моментам

перехода сигналов через «нуль» от фазы сжатия (положительная полуволна) к фазе разрежения (отрицательная полуволна). Из теоретической модели распространения широкополосных ОА сигналов в сильнопоглощающей или рассеивающей ультразвуком среде [1] следует, что наиболее близка к фазовой скорости волны скорость распространения «нулевой» точки временного профиля двухполярного импульса.

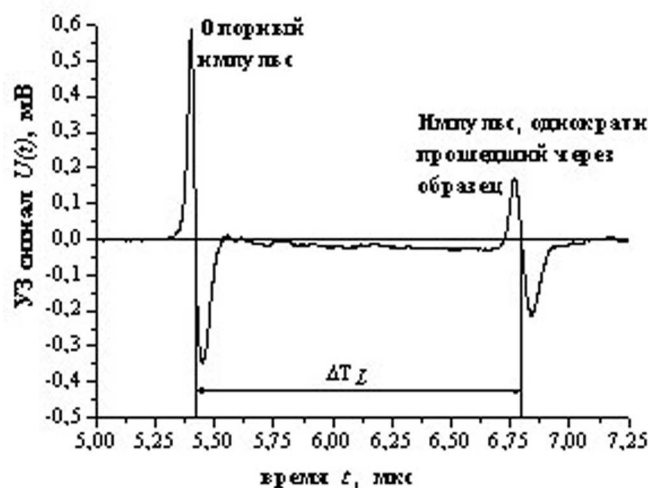


Рис. 2. Временная форма опорного и прошедшего через образец алюмоматричного композита импульсов продольных ультразвуковых волн

Измерение фазовой скорости поперечных (сдвиговых) акустических волн c_s проводилось с использованием оптико-акустического метода при поглощении лазерного импульса в самом исследуемом образце (см., например [8–10]). На рис. 3 представлена типичная временная форма акустического сигнала, возбуждаемого в образце алюмоматричного композита при поглощении импульса Nd:YAG-лазера с модуляцией добротности и не вызывающего повреждения поверхности образца.

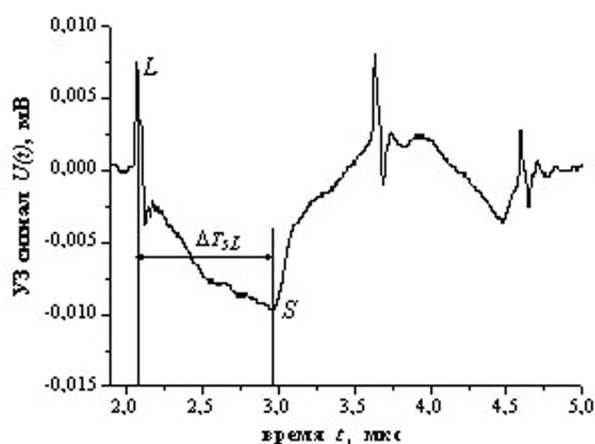


Рис. 3. Типичная временная форма акустического сигнала, возбуждаемого при поглощении лазерного импульса в образце алюмоматричного композита

Возбуждаемый импульс продольных волн L является однополярным (сжатие), фаза разрежения появляется из-за дифракции ультразвука в образце. Импульс сдвиговых акустических волн возбуждается при отражении импульса L от облучаемой акустически свободной поверхности образца (граница воздух – образец). Регистрируемая форма волны S (рис. 3) определяется акустическим полем сдвиговой волны, трансформируемой в продольную при переходе из образца в слой

иммерсионной жидкости. При этом на форму волны S влияет не только диаграмма направленности возбуждаемой сдвиговой волны, но и зависимость коэффициента трансформации от её угла падения на границу раздела (образец – иммерсионная жидкость), а также конечность апертуры пьезоприемника. Поэтому регистрируемый импульс S , определяемый сдвиговой волной, сильно растянут по сравнению с импульсом продольных волн L , а момент прихода отрицательного пика сигнала S определяется временем распространения сдвиговой волны по образцу. Импульсы, следующие после этого сигнала, представляют собой переотражения импульса продольных волн L в образце и в слое иммерсионной жидкости между образцом и пьезоприемником. По измеренной разности ΔT_{sL} времен прихода на пьезоприемник максимума импульса L и минимума импульса S и по измеренной с использованием описанной выше методики скорости продольных акустических волн c_L определяется скорость сдвиговых волн в образце:

$$c_S = \frac{H}{(\Delta T_{sL} + H/c_L)}. \quad (2)$$

Малая длительность импульсов продольных и сдвиговых волн обеспечивает достаточно высокую относительную точность измерения фазовых скоростей $\delta(C_L) \approx 0,5 \%$, $\delta(C_s) \approx 1,5 \div 2 \%$. Для продольных ультразвуковых волн величина $\delta(c_L)$ определяется в основном погрешностью измерения толщины образцов $\delta H \approx 0,5 \%$. Для сдвиговых ультразвуковых волн величина $\delta(c_s)$ определяется в основном точностью измерения значения ΔT_{sL} , т. е. локализацией минимума импульса S : $\delta(\Delta T_{sL}) \approx 1,5 \div 2 \%$ (рис.3).

Расчёт значений модуля Юнга E , модуля сдвига G и коэффициента Пуассона ν в образцах производится по формулам:

$$E = \rho c_s^2 [(3c_l^2 - 4c_s^2) / (c_l^2 - c_s^2)] \quad (3)$$

$$G = \rho c_s^2 \quad (4)$$

$$\nu [(c_l^2 - 2c_s^2) / (2c_l^2 - 2c_s^2)], \quad (5)$$

где ρ – плотность образца, полученная по результатам взвешивания в воздухе. Максимальная относительная погрешность измерения упругих модулей в применяемом лазерном оптико-акустическом методе определяется точностью измерения фазовых скоростей продольных и сдвиговых акустических волн и составляет для модуля Юнга $\delta E = 6 \%$, модуля сдвига – $\delta G = 4 \%$, коэффициента Пуассона – $\delta \nu = 5 \%$.

В качестве исследуемых образцов были взяты поликристаллические КМ на базе матрицы из алюминия с добавлением частиц титана (5 масс. %) со средним диаметром 100 мкм (образцы серии 1) или смеси частиц титана с наночастицами алмаза (0,25 масс. %) со средним диаметром 50 нм (серия 2) и 150 нм (серия 3). Образцы были получены методом реакционного литья с замешиванием в матричный расплав порошка из наполнителей. В результате реакции в матрице образуются интерметаллидные фазы, влияющие на упругие свойства КМ. Размер и объёмное содержание интерметаллидных фаз зависят от длительности выдержки композиционного расплава до разливки [6]. Для сравнения таким же образом выплавляли образец из алюминия чистотой 99,99 % (обр. 1).

Структуру, химический и фазовый состав исходного матричного сплава и полученных образцов КМ исследовали методами оптической микроскопии на микроскопе Лейка DM ILM и растровой электронной микроскопии на микроскопе QUANTA 200 3D, снабжённом системой EDS для микроанализа.

На рис. 4 представлены структуры образцов КМ 1.1, 1.2, 1.3 и 1.4. Видно, что структура образцов КМ серии 1 состоит из матричного твёрдого раствора и включений интерметаллидов. Такие включения интерметаллидов характеризуются максимальной прочностью связи по поверхностям раздела, обусловленной малым решёточным несоответствием новых фаз и матрицы, а также высокой термической стабильностью. Размеры и форму интерметаллидных фаз можно регулировать путём выбора режимов совмещения компонентов, участвующих в реакциях in-situ [7]. Согласно микрорентгеноспектральному анализу интерметаллиды имеют состав Al_3Ti . При выдержке расплава до разливки более 20 мин игольчатые включения Al_3Ti превращаются в блочные. Также видно, что с увеличением длительности выдержки расплава увеличивается размер интерметаллидных включений. Подобные картины изменения структуры наблюдаются и для образцов серий 2 и 3, т. е. происходит преобразование игольчатых интерметаллидов в блочные и увеличение их размеров в зависимости от длительности выстаивания композиционного расплава перед разливкой.

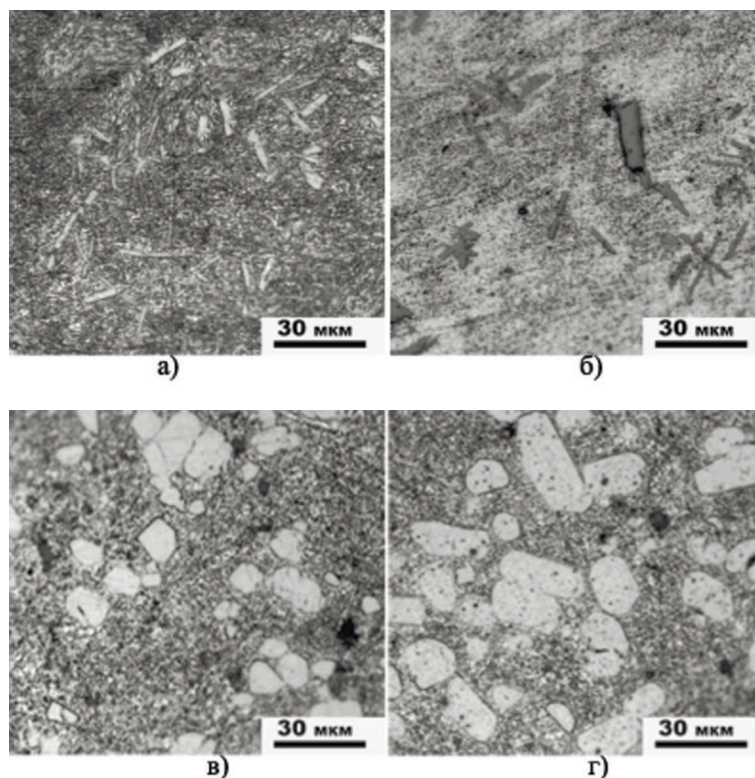


Рис. 4. Структура образцов КМ серии 1: (1.1 – а, 1.2 – б, 1.3 – в, 1.4 – д).

На рис. 5 показано изменение объёмной доли и среднего размера частиц интерметаллидных фаз Al-Ti в зависимости от длительности выдержки расплава перед разливкой. Видно, что во всех случаях объёмная доля фаз растёт с увеличением длительности выдержки расплава до разливки. Размеры частиц интерметаллидных фаз с выдержкой увеличиваются примерно в три раза, кроме образцов КМ с добавками нанопорошков алмаза размером 50 нм. Можно сказать, что модифицирующий эффект применения наноразмерных порошков синтетического алмаза проявляется в ограничении размеров частиц новой фазы во всем интервале исследуемых выдержек. В случае добавления в КМ порошков алмаза размером 150 нм (серия 3) структура изменяется аналогично только при выдержках до 60 мин. При больших выдержках композиционного расплава (более 60 мин) наблюдается увеличение скорости роста частиц интерметаллидов, т. е. влияние добавок алмаза (150 нм) на межфазную гетеродиффузию оказывается незначительным.

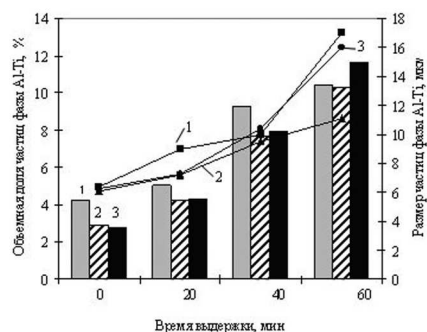


Рис. 5. Объёмная доля (а) и средний размер (б) частиц интерметаллидных фаз в зависимости от времени выдержки расплава до разливки. Состав образцов по шихте: 1 – Al+5 %Ti, 2 – Al+5 %Ti+ 0,25 вес. % C (50 нм), 3 – Al+5 %Ti+ 0,25 вес. % C (150 нм).

Было исследовано влияние морфологии и количества новых синтезируемых интерметаллидных фаз на изменение физических свойств КМ. Образцы КМ можно считать изотропными по механическим и акустическим свойствам, поскольку распределение интерметаллидных включений по объему образцов практически однородно. Поэтому величины скоростей продольных и сдвиговых ультразвуковых волн считали не зависящими от направления распространения волны в образце.

Образец алюминия был использован в качестве тестового. Как видно из табл. 2, измеренные значения фазовых скоростей продольных и сдвиговых акустических волн и упругих модулей совпадают со справочными в пределах погрешностей измерений. Это говорит о достоверности результатов, получаемых лазерным оптико-акустическим методом.

Таблица 2

Сравнение результатов оптико-акустических измерений и справочных данных [6] для образца алюминия

	$c_L, \times 10^3$ м/с	$c_s, \times 10^3$ м/с	E, ГПа	G, ГПа	ν
Справочные данные	6,26	3,08	69 ÷ 72	25 ÷ 26,5	0,31 ÷ 0,33
Результаты ОА измерений	6,28 ± 0,03	3,13 ± 0,05	71 ± 3	26 ± 1	0,34 ± 0,01

Параметры исследованных образцов КМ и результаты измерений упругих модулей представлены в табл. 3. Для наглядности зависимости упругих модулей от длительности выдержки расплава до разливки представлены на рис. 6.

Таблица 3

Режим изготовления (длительность выдержки расплава до разливки при $T = 750 - 800$ ° С) и результат измерений упругости КМ

Серия	Образец	Выдержка расплава мин	Плотность $\rho, \text{г/см}^3$	E, ГПа	G, ГПа	ν
КМ серия 1	1.1	2	2,702	65 ÷ 3	24 ÷ 1	0,36 ÷ 0,01
	1.2	20	2,685	68 ÷ 3	25 ÷ 1	0,34 ÷ 0,01
	1.3	60	2,725	79 ÷ 4	30 ÷ 1	0,32 ÷ 0,01
	1.4	90	2,754	80 ÷ 4	30 ÷ 1	0,33 ÷ 0,01
КМ серия 2	2.1	2	2,530	66 ÷ 3	25 ÷ 1	0,34 ÷ 0,01
	2.2	20	2,649	68 ÷ 3	25 ÷ 1	0,35 ÷ 0,01
	2.3	60	2,618	68 ÷ 4	25 ÷ 1	0,35 ÷ 0,01
	2.4	90	2,626	68 ÷ 4	26 ÷ 1	0,35 ÷ 0,01
КМ серия 3	3.1	2	2,634	71 ÷ 3	22 ÷ 1	0,38 ÷ 0,01
	3.2	20	2,580	56 ÷ 3	20 ÷ 1	0,38 ÷ 0,01
	3.3	60	2,511	63 ÷ 4	23 ÷ 1	0,36 ÷ 0,01
	3.4	90	2,612	63 ÷ 4	23 ÷ 1	0,36 ÷ 0,01

Как видно, значения упругих модулей в образцах КМ серии 1 возрастают с увеличением длительности выдержки расплава до разливки, что связано с ростом объёмной доли интерметаллидной фазы Al₃Ti, упрочняющей матрицу. Некоторое уменьшение значений упругих модулей при модифицировании КМ наноразмерными частицами можно объяснить увеличением доли межфазных границ интерметаллидной матрицы в результате измельчения интерметаллидной фазы. У образцов серии 2 (модифицирование порошками алмаза размером 50 нм) значения модуля Юнга выше, чем у образцов серии 3, что подтверждает эффективность применения модифицирующих частиц с достаточно малыми размерами, т. е. наноразмерных модификаторов. Важным представляется и тот факт, что у образцов серии 1 при выдержках расплава до разливки 60 и 90 мин значения модулей Юнга максимальны. Это говорит о совершенстве межфазных границ, формирующихся при длительных выдержках расплава. Однако большой разброс значений модулей при всех режимах изготовления этих КМ связан с размерной нестабильностью интерметаллидов.

Таким образом, разработанный лазерный оптико-акустический метод даёт возможность проводить экспериментальный анализ влияния химического и фазового состава, размеров и концентрации упрочняющих частиц на упругие свойства композиционных материалов. Кроме того, данный метод позволяет осуществлять неразрушающую диагностику упругих свойств композиционных материалов по фактическому состоянию. Такая диагностика является необходимой на этапе отработки и совершенствования технологии изготовления новых материалов, а также для выявления «слабых» мест с меньшей прочностью в материале перед изготовлением деталей и изделий.

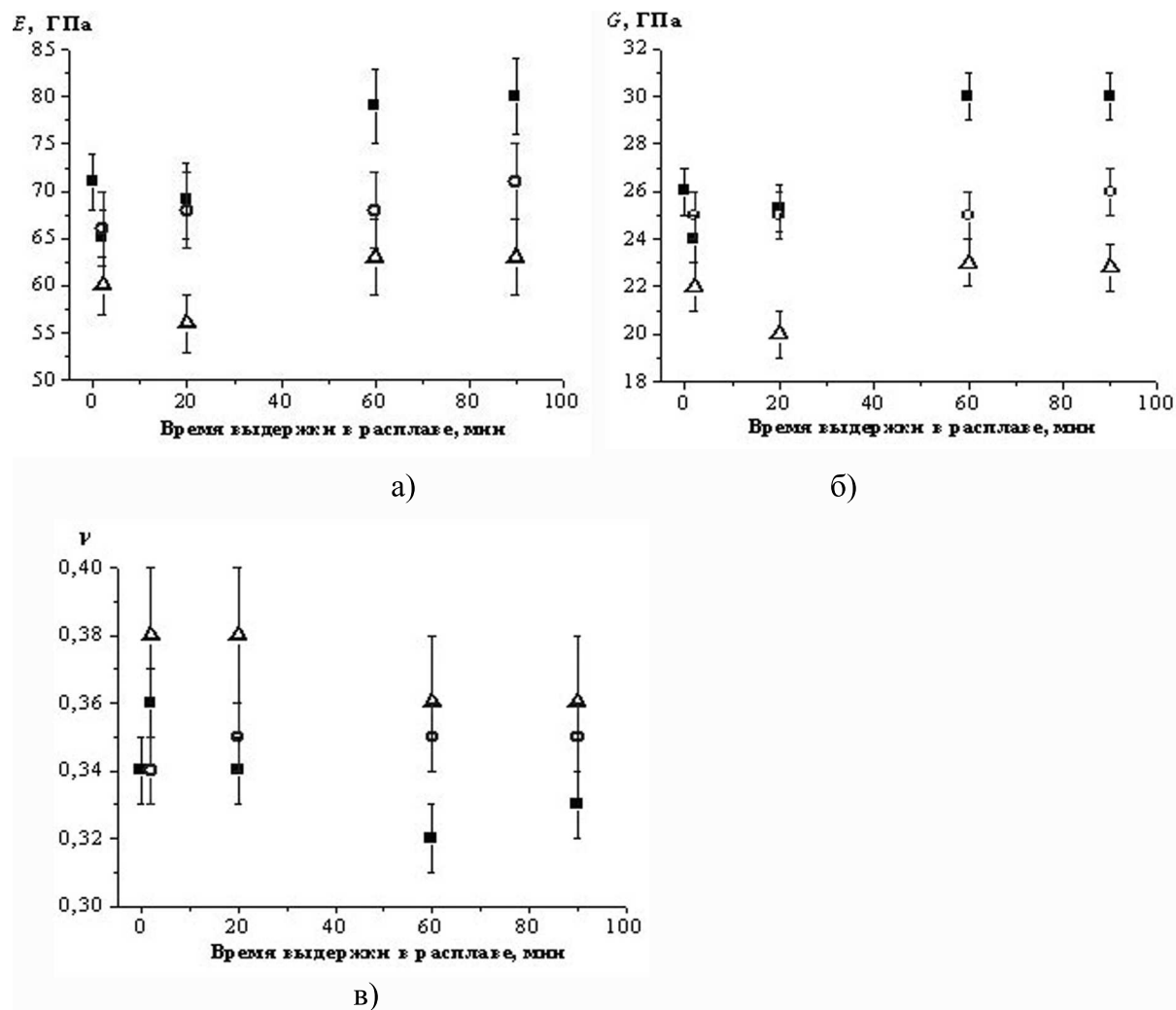


Рис. 6. Результаты оптико-акустических измерений упругих модулей образцов КМ. Серия № ■ – 1, ○ – 2, △ – 3.

Список литературы

1. Гусев В. Э., Карабутов А. А. Лазерная оптоакустика. М.: Наука, 1991. 304 с.
2. Карабутов А. А., Кобелева Л. И., Подымова Н. Б., Чернышова Т. А. Измерение упругих модулей композиционных материалов, упрочнённых частицами, лазерным оптико-акустическим методом // Заводская лаборатория: диагностика материалов. 2009. Т. 75. №3. С. 27–33.
3. Прикладная механика композитов / под ред. Ю. М. Тарнопольского. М.: Мир, 1989. 358 с.
4. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твёрдого тела. М.: Мир, 1972. 307 с.
5. Физические величины: справочник / ред. И. С. Григорьев, Е. З. Мейлихов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
6. Чернышова Т. А. [и др.]. Влияние тугоплавких наночастиц на модификацию структуры металлматричных композитов // Металлы. 2007. № 3. С. 79–84.
7. Чернышова Т. А., Калашников И. Е., Болотова Л. К., Кобелева Л. И. Получение аломатричных композиционных материалов с наноразмерными модификаторами методами жидкофазного совмещения // ФХОМ. 2006. № 1. С. 85–90.

8. Aindow A. M., Dewhurst R. J., Hutchins D. A., Palmer S. B. Laser-generated ultrasonic pulses at free metal surfaces // J. Acoust. Soc. Am. 1981. V. 69. № 2. P. 449–455.
9. Bescond C., Audoin B., Deschamps M., Qian M. Measurement by laser generated ultrasound of the stiffness tensor of an anisotropic material // Acta Acustica. 2002. V. 88. № 1. P. 50–59.
10. Hurley D. H. Laser-generated thermoelastic acoustic sources in anisotropic materials // J. Acoust. Soc. Am. 2004. V. 115. № 5. P. 2054–2058.

References

1. Gusev V. E., Karabutov A. A. Lazernaya optoakustika. M.: Nauka, 1991. 304 s.
2. Karabutov A. A., Kobeleva L. I., Podymova N. B., Chernyshova T. A. Izmerenie uprugikh modulei kompozitsionnykh materialov, uprochnennykh chastitsami, lazernym optiko-akusticheskim metodom // Zavodskaya laboratoriya: diagnostika materialov. 2009. T. 75. №3. S. 27–33.
3. Prikladnaya mekhanika kompozitov / pod red. Yu. M. Tarnopol'skgo M.: Mir, 1989. 358 s.
4. Truell R., El'baum Ch., Chik B. Ul'trazvukovye metody v fizike tverdogo tela. M.: Mir, 1972. 307 s.
5. Fizicheskie velichiny: spravochnik / red. I. S. Grigor'ev, E. Z. Meilikhov. M.: Energoatomizdat, 1991. 1232 s.
6. Chernyshova T. A. [i dr.]. Vliyanie tugoplavkikh nanochastits na modifikatsiyu struktury metallomatrichnykh kompozitov // Metally. 2007. № 3. S. 79–84.
7. Chernyshova T. A., Kalashnikov I. E., Bolotova L. K., Kobeleva L. I. Poluchenie alyumomatrichnykh kompozitsionnykh materialov s nanorazmernymi modifikatorami metodami zhidkofaznogo sovmeshcheniya // FKhOM. 2006. № 1. S. 85–90.
8. Aindow A. M., Dewhurst R. J., Hutchins D. A., Palmer S. B. Laser-generated ultrasonic pulses at free metal surfaces // J. Acoust. Soc. Am. 1981. V. 69. № 2. P. 449–455.
9. Bescond C., Audoin B., Deschamps M., Qian M. Measurement by laser generated ultrasound of the stiffness tensor of an anisotropic material // Acta Acustica. 2002. V. 88. № 1. P. 50–59.
10. Hurley D. H. Laser-generated thermoelastic acoustic sources in anisotropic materials // J. Acoust. Soc. Am. 2004. V. 115. № 5. P. 2054–2058.

Статья поступила в редакцию 19.05.2014

УДК 537.915
ББК 22.317

Сергей Дмитриевич Крылов,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник,
Институт природных ресурсов, экологии и криологии
Сибирского отделения Российской академии наук
(672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а)
e-mail: lgc255@mail.ru

Изучение состояния переохлаждённой воды в порах силикатных материалов методом низкочастотных шумов

Выполнены измерения собственных флуктуаций напряжения (шумов) увлажнённых порошкообразных образцов силикагеля КСКГ и песка. Обнаружен различный характер изменения шумов силикагеля с различной влажностью в цикле охлаждения – нагревания в интервале температур $+10^{\circ}C - -150^{\circ}C$. Также наблюдаются отличия шумов образцов силикагеля и образцов песка. Из результатов измерений следует, что данный метод исследования перспективен для изучения материалов с нанопорами, таких как SBA-15, MSM-41.

Ключевые слова: электрические флуктуации, нанопористые материалы, переохлаждённое состояние.

Sergey Dmitrievich Krylov,
Candidate of Physics and Mathematics, Senior Researcher,
Institute of Natural Resources, Ecology and Criology
the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences
(16a Nedorezov St., Chita, Russia, 672014)
e-mail: lgc255@mail.ru

Investigation of the Super-Cooled Water State in the Pores of Silicate Materials by Low-Frequency Noise Method

The measurements of own voltage fluctuations (noise) of moist powdered samples of silica KSKG and sand were carried out. Different character of noise changes of silica of different moisture during the cooling-heating cycle in the temperature range $+10^{\circ}C - -150^{\circ}C$ was revealed. Also difference of noise character of silica and sand was observed. How it is sequenced from results of the measurements this method is promising for study materials with nanopores, such as SBA-15, MSM-41.

Keywords: electrical fluctuations, nano-porous materials, super-cooled state.

Введение. Флуктуации тока и напряжения, называемые электрическим шумом, носят случайный характер и, в той или иной степени, присущи всем объектам. Они могут быть обусловлены протеканием электрического тока, тепловым движением носителей электрического заряда, а также флуктуациями других неэлектрических величин, влияющих на электрическое состояние среды. С практической точки зрения электрические шумы являются мешающим фактором. Они определяют точность электронных приборов, используемых при измерениях. Однако исследование электрических флуктуаций (напряжения, потенциала, заряда) проводящих систем может давать информацию о состоянии, скрытых закономерностях, протекании каких-либо процессов в изучаемом объекте. Так, в работе [1] предлагается метод диагностики работоспособности аккумуляторов с использованием флуктуаций напряжения. Используются флуктуации потенциала и тока для изучения процессов коррозии металлов [2].

Цель данной работы – усовершенствовать методику исследования конкретного вида структур, а, именно, нанобъектов с использованием измерений напряжения шумов, возникающих на образце, предложенную в работе [3]. В качестве нанобъектов планируется исследовать материалы, имеющие

значительную поверхность и объём пор – силикатные материалы SBA-15, MCM-41, а также природные минералы – цеолиты, способные поглощать и отдавать воду в зависимости от температуры и влажности.

Методика отработывалась на силикагеле марки КСКГ, имеющего наноразмерные поры.

Схема эксперимента. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Образцы, представляющие из себя порошки исследуемого вещества, помещались в пластмассовую трубку с внутренним диаметром 10 мм и длиной 60 мм. Образец закрывался с обеих сторон пластинками из нержавеющей стали, которые являлись одновременно контактами для снятия шумового напряжения с образца. Температура образца регистрировалась термопарой медь-константан, вставленной в середину образца через отверстие в стенке трубки. Образец помещался в теплоизолирующую камеру изготовленную из пенопласта и имеющую отверстия для подвода и отвода охлаждающего газа – азота. Струя охлаждающего газа подавалась из сосуда Дьюара с жидким азотом. Поток газа регулировался нагревателем помещённым в сосуд с жидким азотом. Отличие схемы от используемой в работе [3], заключается в более тщательном экранировании образца и использовании схемы термопары не связанной со схемой измерения флуктуаций напряжения. Причина таких изменений в том, что шумовые напряжения на образце малы и внешние переменные электромагнитные поля, наводки, мешают их измерениям. Для избежания влияния наводок термоизолирующая камера с образцом экранировалась – помещалась в металлическую коробку и тщательно заземлялась вместе с измерительными приборами. Шумовое напряжение подавалось на усилитель с полосой пропускания 1–500 Гц и входным сопротивлением 4,7 МОм, детектировалось детектором, пропускалось через фильтр низких частот с постоянной времени 0,5 с и обрабатывалось системой сбора информации „Agilent“ с записью в компьютер. Одновременно регистрировалась и температура с помощью термопары.

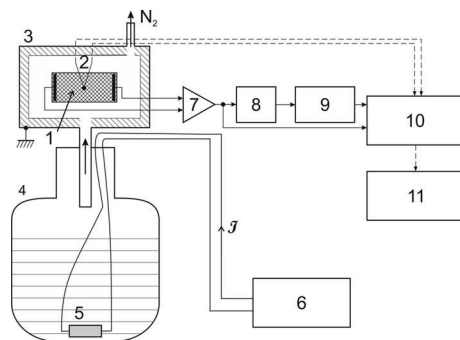


Рис. 1. Схема установки для измерения низкочастотных электрических шумов:

- 1 – исследуемый образец, 2 – термопара, 3 – термокамера, 4 – сосуд Дьюара с жидким азотом,
5 – резистор-нагреватель, 6 – источник питания для резистора-нагревателя, 7 – усилитель,
8 – детектор амплитуды, 9 – фильтр низких частот, 10 – система сбора информации „Agilent“
11 – компьютер

Измерения были выполнены с образцами, приготовленными из силикагеля КСКГ с размерами пор 8 нм и, для сравнения, с образцами из песка. Гранулы силикагеля дробились на кофемолке в порошок. Затем порошок высушивался при температуре $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и увлажнялся в эксикаторе. Весовая влажность исследуемых образцов составляла 60–80 %. Влажность образцов из песка 16 %. Основные компоненты песка кварц и полевоы шпат. Изготовить образец из песка сравнимый по влажности с образцами из силикагеля не удаётся из-за отсутствия пор и малой, по сравнению с силикагелем, площади поверхности. Размеры песчинок в образце составляли 0,05–0,14 мм.

Результаты измерений. На рис. 2 и 3 приводятся результаты измерений шумового напряжения на электродах ячейки образцов 1 и 2 (порошки из силикагеля КСКГ), на рис. 4 для образца из песка. Из результатов измерений следует, что для образца 1 величина шумового напряжения падает с уменьшением температуры, а для образца 2 шумовое напряжение возрастает. Для обоих образцов наблюдается гистерезис в зависимости шумового напряжения от температуры в процессе охлаждения и нагревания. На графиках выделяются по величине «выбросы» шумового напряжения. Для первого образца хорошо заметно, что «выбросы» происходят в ряде случаев при одних

и тех же значениях температуры в процессе охлаждения и нагревания (отмечены вертикальными стрелками).

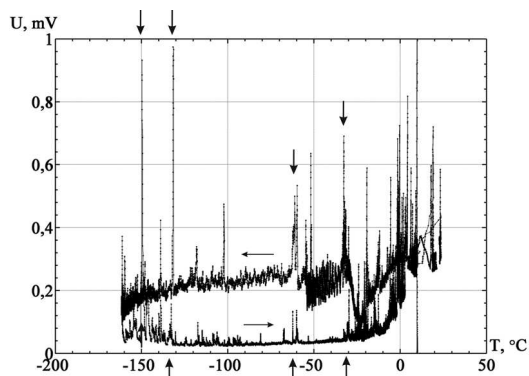


Рис. 2. Результаты измерений среднего значения амплитуды электрических шумов на электродах ячейки в зависимости от температуры в цикле охлаждение – нагревание для образца из силикагеля КСКГ. Весовая влажность образца 58 %. Горизонтальными стрелками указан ход цикла. Вертикальными стрелками отмечено совпадение «выбросов» шумового напряжения по температуре

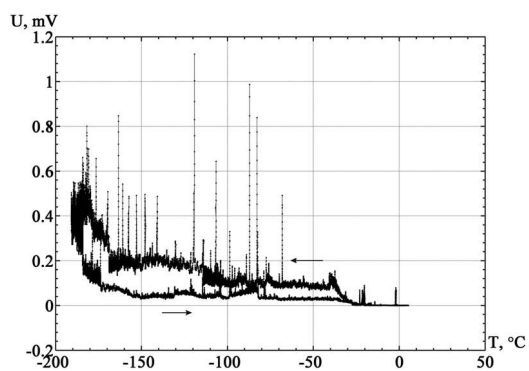


Рис. 3. Результаты измерений среднего значения амплитуды электрических шумов на электродах ячейки в зависимости от температуры в цикле охлаждение – нагревание для образца из силикагеля КСКГ. Весовая влажность образца – 81 %

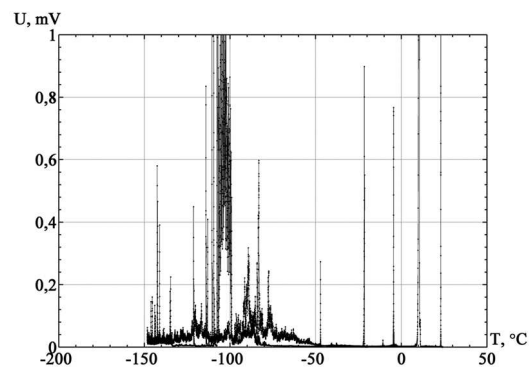


Рис. 4. Результаты измерений среднего значения амплитуды электрических шумов на электродах ячейки в зависимости от температуры в цикле охлаждение – нагревание. Образец – песок. Весовая влажность – 16 %

На рис. 4 приведены результаты измерений шумового напряжения для образца из песка. Как видно из рисунка, шумовое напряжение в среднем по величине меньше, чем на образцах из силикагеля. В то же время величина выбросов вблизи -100°C больше. Так же, как и для образцов из КСКГ, наблюдается гистерезис шумового напряжения. Изменение среднего значения шумового напряжения можно связать с фазовыми превращениями плёнок воды в среде. Как видно из рис. 2–4 эти превращения носят сложный характер. Обнаружилось и кратковременное резкое возрастание напряжения на ячейке. Оно может быть связано с резкими изменениями поляризации среды вследствие возникновения сегнетоэлектрического состояния, о котором сообщалось в [3; 4].

Заключение. Как показали выполненные измерения, исследование флуктуаций напряжения позволяет обнаруживать процессы, происходящие в увлажнённых пористых материалах. Из простых физических соображений следует, что при фазовом переходе вода – лёд при 0°C происходит исчезновение электропроводности и, соответственно, исчезновение флуктуаций напряжения на пористом увлажнённом образце. Однако, как следует из результатов измерений, флуктуации напряжения возрастают и, кроме того, появляются резкие кратковременные «выбросы» шумового напряжения. Эти процессы наблюдаются до температуры -150°C , до которой проводились измерения. Наблюдаются также различия для одного и того же образца разной влажности. Причина такого поведения электрических шумов может быть объяснена особыми свойствами воды. Вода, находящаяся в переохлаждённом состоянии в порах исследуемых материалов, может обладать сегнетоэлектрическими свойствами. Также это может быть проявлением особых свойств плёнок воды на поверхности частиц образца.

Таким образом, простая методика измерения собственных электрических флуктуаций показала возможность экспрессных измерений физических свойств увлажнённых материалов. Эта методика дополняет диэлектрические и калориметрические измерения таких материалов. Как следует из результатов измерений, исследование флуктуаций напряжения, существующих на пористых образцах, позволяет получать новую информацию, представляющую большой интерес из-за широкой распространённости пористых материалов в природной среде.

Список литературы

1. Таганова А. А. Диагностика герметичных химических источников тока. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. 128 с.
2. Способ, предусматривающий использование электрохимического шума при коррозии: пат. 2222001 Рос. Федерация. №2001119059/28: заявл. 09.12.1999; опубл. 20.01.2004.
3. Бордонский Г. С., Орлов А. О. Исследование сегнетоэлектрических фазовых переходов воды в нанопористых силикатах при совместных электрических шумовых и калориметрических измерениях // Физика твёрдого тела. 2014. Т. 56. Вып. 8. С. 1575–1582.
4. Fedichev P. O., Menshikov L. I., Bordonskiy G. S., Orlov A. O. Experimental evidence of the ferroelectric nature of the λ -point transition in liquid water // Письма в ЖЭТФ. 2011. Т. 94. Вып. 5–6. С. 433–437.

References

1. Taganova A. A. Diagnostika germetichnykh khimicheskikh istochnikov toka. SPb.: KhIMIZDAT, 2007. 128 s.
2. Sposob, predusmatrivayushchii ispol'zovanie elektrokhimicheskogo shuma pri korrozii: pat. 2222001 Ros. Federatsii № 2001119059/28: zayavl. 09.12.1999; opubl. 20.01.2004.
3. Bordonskii G. S., Orlov A. O. Issledovanie segnetoelektricheskikh fazovykh perekhodov vody v nanoporistykh silikatakh pri sovместnykh elektricheskikh shumovykh m kalometricheskikh izmereniyakh // fizika tverdogo tela. 2014. T. 56. Vyp. 8. S. 1575–1582.
4. Fedichev P. O., Menshikov L. I., Bordonskiy G. S., Orlov A. O. Experimental evidence of the ferroelectric nature of the λ -point transition in liquid water // Письма в ЖЭТФ. 2011. Т. 94. Вып. 5–6. С. 433–437.

Статья поступила в редакцию 10.06.2014

УДК 517.956
ББК 22:23

Наталья Валерьевна Кузнецова,
старший преподаватель,
Южно-Якутский институт железнодорожного транспорта
(678965, Россия, г. Нерюнгри, ул. Карла Маркса, д. 7/1)
e-mail: pestryakovi@mail.ru

О решении задачи Дирихле в кусочно-однородной полосе с двухслойным плёночным включением

Рассмотрена задача Дирихле для уравнения Лапласа в кусочно-однородной полосе $D(x \in R) = D_1(x < 0) \cup D_2(x > 0)$, $0 < y < \pi$ проницаемости k_i в D_i . Области D_i разделены бесконечно тонкой двухслойной плёнкой, состоящей из сильно и слабо-проницаемых прослоек. Решение задачи выражено через решение классической задачи Дирихле в однородной полосе без плёнки.

Ключевые слова: краевые задачи в полосе, двухслойное плёночное включение, сильно проницаемая плёнка, слабопроницаемая плёнка, метод свёртывания разложений Фурье.

Natalia Valerievna Kuznetsova,
Senior Teacher,
South-Yakutiya Institute of Railway Transport
(7/1 Karl Marx St., Neryungri, Russia, 678965)
e-mail: pestryakovi@mail.ru

On the Solution of the Dirichlet Problem in a Piecewise Homogeneous Band with the Two-layer Film Inclusion

Consider the Dirichlet problem for the Laplace equation in a piecewise homogeneous band $D(x \in R) = D_1(x < 0) \cup D_2(x > 0)$, $0 < y < \pi$ of permeability k_i in the D_i . Regions D_i are separated by an infinitely thin two-layer film $x = 0$ consisting of a hard and low permeability layers. Solution of the problem is expressed in terms of the classical solution of the Dirichlet problem in a homogeneous band without film.

Keywords: boundary value problems in the band, two-layer film inclusion, strongly permeable film, weakly permeable film, method of convolution of Fourier expansions.

В современных условиях широкое применение находят композитные материалы, содержащие плёночные включения. Поэтому большой интерес имеет исследование процессов теплопереноса в средах с многослойными плёнками. При решении задач с плёночными включениями, как правило, рассматриваются однослойные плёнки [1–3].

Рассмотрим в кусочно-однородной полосе $D(x \in R, 0 < y < \pi)$, состоящей из двух полуполос $D_1(x < 0, 0 < y < \pi)$ и $D_2(x > 0, 0 < y < \pi)$ для функций $u_i(x, y)$ в D_i задачу:

$$\Delta u_i = 0, \quad u_{1|y=\pi} = 0, \quad u_{2|y=\pi} = f(x), \quad u_{1,2|y=0} = 0, \quad (1)$$

$$x = 0: \quad u_2 - u_1 = Bk_2 \partial_x u_2, \quad k_2 \partial_x u_2 - k_1 \partial_x u_1 = A \partial_x^2 u_1, \quad (2)$$

где B, A – положительные постоянные, $f(x)$ – заданная функция, Δu – оператор Лапласа, постоянные $k_i > 0$ характеризуют проницаемость соответствующей зоны D_i , $\partial_y = \partial/\partial y$, граничная функция $f(x)$ удовлетворяет условиям:

$$f(x) \in C(x \geq 0), \quad |f(x, y)| = O(1), \quad x \rightarrow \infty.$$

Обобщённые условия сопряжения (2) соответствуют условиям на двухслойной плёнке $x = 0$, состоящей из сильно проницаемой прослойки $x = -0$ и слабопроницаемой прослойки $x = +0$ с параметрами соответственно A и B [4]. В данном случае граничное условие неоднородно только на луче $y = \pi$, $x > 0$, что не умаляет общности, т.к. в случаях неоднородных условий на других лучах, составляющих границу D , задача решается аналогично, а в общем случае – как сумма решений указанных задач.

Выразим решение задачи (1), (2) через решение аналогичной классической задачи Дирихле в однородной полосе D без плёнки. Представим решение задачи (1), (2) при $(A - Bk_1k_2)^2 > 4ABk_2^2$, $(A - Bk_1k_2)^2 < 4ABk_2^2$ и $(A - Bk_1k_2)^2 = 4ABk_2^2$ соответственно в виде (см. формулы (12)–(18) в работе автора [4]):

$$u_1 = \frac{2k_2}{\sqrt{T}} \int_0^\infty v(x-t, y) (e^{-\gamma_1 t} - e^{-\gamma_2 t}) dt, \quad (3)$$

$$u_2 = v(x, y) + v(-x, y) -$$

$$-\frac{2}{\sqrt{T}} \int_0^\infty v(-x-t, y) [(k_1 - A\gamma_1)e^{-\gamma_1 t} - (k_1 - A\gamma_2)e^{-\gamma_2 t}] dt; \quad (4)$$

$$u_1 = \frac{4k_2}{\sqrt{-T}} \int_0^\infty v(x-t, y) e^{-\alpha t} \sin \beta t dt, \quad (5)$$

$$u_2 = v(x, y) + v(-x, y) -$$

$$-\frac{4}{\sqrt{-T}} \int_0^\infty v(-x-t, y) e^{-\alpha t} [(k_1 - A\alpha) \sin \beta t + A\beta \cos \beta t] dt \quad (6)$$

и

$$u_1 = \frac{2}{AB} \int_0^\infty v(x-t, y) e^{-\alpha t} dt, \quad (7)$$

$$u_2 = v(x, y) + v(-x, y) - \frac{2}{ABk_2} \int_0^\infty v(-x-t, y) e^{-\alpha t} [(k_1 - A\alpha)t + A] dt, \quad (8)$$

где

$$\gamma_i = \frac{A + Bk_1k_2 + (-1)^i \sqrt{T}}{2ABk_2}, \quad T = (A - Bk_1k_2)^2 - 4ABk_2^2,$$

$$\alpha = \frac{A + Bk_1k_2}{2ABk_2}, \quad \beta = \frac{\sqrt{-T}}{2ABk_2}.$$

Решения (3)–(8) получены с помощью метода свёртывания разложений Фурье [5; 6]. Функции (3)–(8) представляют собой операторы, действующие на функцию $v(x, y)$ по одной переменной x , при этом переменная y является свободной (параметром). Аргументы слагаемых в формулах (3)–(8), кроме первого слагаемого вида $v(x, y)$ у функции $u_2(x, y)$, принадлежат области, где условия задачи однородны, что проверяется непосредственно. Отсюда для функции $v(x, y)$ получим аналогичную задачу Дирихле в однородной полосе D с сохранением граничной функции:

$$\Delta v = 0, \quad 0 < y < \pi, \quad (9)$$

$$v|_{y=0} = 0, \quad v|_{y=\pi} = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ f(x), & x > 0 \end{cases}. \quad (10)$$

Решение последней задачи построим методом функции Грина. Для нахождения функции Грина с помощью аналитической функции $\zeta = e^z$ ($\zeta = \xi + i\eta$, $z = x + iy$) конформно отображим полосу D в полуплоскость D_0 ($\xi \in R, \eta > 0$). При этом

$$\xi = \rho \cos \varphi = e^x \cos y, \quad \eta = \rho \sin \varphi = e^x \sin y, \quad (11)$$

где ρ, φ – полярные координаты плоскости ζ . Отсюда в переменных ξ, η функция Грина в полуплоскости D_0 строится методом отражения особой точки и имеет вид:

$$G = \frac{1}{4\pi} \ln \frac{(\xi - \xi_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2}{(\xi - \xi_0)^2 + (\eta + \eta_0)^2}$$

или в переменных x, y (11)

$$G = \frac{1}{4\pi} \ln \frac{\operatorname{ch}(x - x_0) - \cos(y - y_0)}{\operatorname{ch}(x - x_0) - \cos(y + y_0)}.$$

Тогда решение задачи (9), (10) строится по формуле Грина:

$$v(x, y) = \frac{\sin y}{2\pi} \int_0^\infty \frac{f(t) dt}{\operatorname{ch}(t - x) + \cos y}. \quad (12)$$

Таким образом, решение исходной задачи (1), (2) строится по формулам (3)-(8), (12). Пусть граничная функция имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} c_i, & x \in (x_i, x_{i+1}) \\ 0, & x \notin (x_i, x_{i+1}) \end{cases} \quad (13)$$

при фиксированном i , где $x_i > 0$. Тогда решение (12) задачи (9), (10) для граничной функции (13) строится в конечном виде:

$$v(x, y) = \frac{c_i}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{e^{x_{i+1}-x} + \cos y}{\sin y} - \operatorname{arctg} \frac{e^{x_i-x} + \cos y}{\sin y} \right). \quad (14)$$

Функциями (13) можно аппроксимировать произвольную непрерывную граничную функцию $f(x)$ с заданной точностью. При этом решение задачи (9), (10) имеет вид суммы функций (14):

$$v(x, y) = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{e^{x_{i+1}-x} + \cos y}{\sin y} - \operatorname{arctg} \frac{e^{x_i-x} + \cos y}{\sin y} \right). \quad (15)$$

Отметим, что для функции $v(x, y)$ (15) решение (3)-(8) исходной задачи (1), (2) сводится к вычислению интегралов вида:

$$\int \frac{dr}{(r - c)^{\gamma_i} (r^2 + s^2)},$$

где $c = \cos y$, $s = \sin y$. При этом указанные интегралы для целых γ_i вычисляются в элементарных функциях.

Список литературы

1. Васильев Б. А. Плоская стационарная задача теории теплопроводности для составной клиновидной области // Дифференц. уравнения. 1984. Т. 20. № 3. С. 530–533.

2. Гуревич А. В., Крылов А. Л., Топор Д. Н. Решение плоских задач гидродинамики пористых сред вблизи разрывных нарушений методом комплексного потенциала // ДАН СССР. 1988. Т. 298. № 4. С. 846–850.
3. Крутицкий П. А., Прозоров К. В. К задаче для уравнения Гельмгольца вне разрезов на плоскости с заданием условия Дирихле и условия с косо́й производной на разных сторонах разрезов // Дифференц. уравнения. 2011. Т. 47. № 9. С. 1268–1283.
4. Нутчина-Пестрякова Н. В. О решении задачи Дирихле в кусочно-однородной полуплоскости с двухслойным плёночным включением // Математический анализ и его приложения. 2011. Вып. 10. Чита. ЗабГГПУ. С. 41–49.
5. Холодовский С. Е. Метод свёртывания разложений Фурье в решении краевых задач с пересекающимися линиями сопряжения // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2007. Т. 47. № 9. С. 1550–1556.
6. Холодовский С. Е. Метод свёртывания разложений Фурье. Случай трещины (завесы) в неоднородном пространстве // Дифференц. уравнения. 2009. Т. 45. № 8. С. 1204–1208.

References

1. Vasil'ev B. A. Ploskaya statsionarnaya zadacha teorii teploprovodnosti dlya sostavnoi klinovidnoi oblasti // Differents. uravneniya. 1984. Т. 20. № 3. S. 530–533.
2. Gurevich A. V., Krylov A. L., Topor D. N. reshenie ploskikh zadach gidrodinamiki poristykh sred vblizi razryvnykh narushenii metodom kompleksnogo potentsiala // Dan SSSR. 1988. Т. 298. № 4. S. 846–850.
3. Krutitskii P. A., Prozorov K. V. K zadache dlya uravneniya Gel'mgol'tsa vne razrezov na ploskosti s zadaniem usloviya Dirikhle i usloviya s kosoi proizvodnoi na raznykh storonakh razrezov // Differents uravneniya. 2011. Т. 47. № 9. S. 1269–1283.
4. Nutchina-Pestryakova N. V. O reshenii zadach Dirikhle v kusochno-odnorodnoi poluploskosti s dvukhsloinym plenochnym vklyucheniem // Matematicheskii analiz i ego prilozheniya. 2011. Vyp. 10. Chita: ZabGGPU. S. 41?49.
5. Kholodochskii S. E. Metod svertyvniya razlozhenii Fur'e v reshenii kraevykh zadach s peresekayushchimisya liniyami sopryazheniya // Zhurnal vychislitel'nyi matematiki i matematicheskoi fiziki. 2007. Т. 47. № 9. S. 1550–1556.
6. Kholodovskii S. E. Metod svertyvaniya razlozhenii Fur'e. Sluchai treshchiny (zavesy) v neodnorodnom prostranstve // Differents. uraneniya. 2009. Т. 45. № 8. S. 1204–1208.

Статья поступила в редакцию 03.05.2014

УДК 535.31
ББК 22.3

Павел Юрьевич Лукьянов,
кандидат технических наук, ведущий программист,
Институт природных ресурсов, экологии и криологии
Сибирского отделения Российской академии наук
(672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а) e-mail: lgc255@mail.ru

Олег Игоревич Петров,
аспирант, Институт природных ресурсов, экологии и криологии
Сибирского отделения Российской академии наук
(672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а) e-mail: lgc255@mail.ru

Александр Александрович Гурулёв,
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,
Институт природных ресурсов, экологии и криологии
Сибирского отделения Российской академии наук
(672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а), e-mail: lgc255@mail.ru

Алексей Олегович Орлов,
младший научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии
Сибирского отделения Российской академии наук
(672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а) e-mail: Orlov_A_O@mail.ru

Сезонные изменения гидрофизических параметров оз. Доронинское¹

В работе приведены результаты натурных измерений гидрофизических параметров меромиктического оз. Доронинское, расположенного в Забайкальском крае. Показаны сезонные вариации параметров по глубине. Выявлена сезонная динамика пограничных зон тепломассобмена, связанная с биохимическими процессами в озере.

Ключевые слова: озеро Доронинское, меромиктический водоём, термоклин, хемоклин.

Pavel Yurievich Lukyanov,
Candidate of Technical Sciences, Leading Programmer,
Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
(16a Nedorezov St., Chita, Russia, 672014) e-mail: lgc255@mail.ru

Oleg Igorevich Petrov,
Postgraduate Student, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
(16a Nedorezov St., Chita, Russia, 672014) e-mail: lgc255@mail.ru

Alexandr Alexandrovich Gurulev,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
(16a Nedorezov St., Chita, Russia, 672014) e-mail: lgc255@mail.ru

Aleksey Olegovich Orlov,
Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
(16a Nedorezov St., Chita, Russia, 672014) e-mail: Orlov_A_O@mail.ru

Seasonal Changes of Hydro-Physical Parameters of the Lake Doroninskoye¹

The paper presents the results of field measurements of hydro-physical parameters Meromictic Lake Doroninskoye, located in the Trans-Baikal region. The seasonal variations of parameters in depth are given. The seasonal dynamics of border zones of heat mass exchange, connected with biochemical processes in the lake is revealed.

Keywords: Doroninskoye lake, meromictic basin, thermocline, chemocline.

¹Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 56.

¹The work is performed with the support of the Integrated Project SB of RAS № 56.

Содовое оз. Доронинское (Улётовский район Забайкальского края, Россия) относится к редкому типу меромиктических водоёмов (водоёмов, в которых за исключением особых случаев, ни в один из сезонов года не происходит перемешивания воды до дна). Для меромиктических водоёмов характерны вертикальная стратификация с образованием достаточно тонких слоев воды с существенно различающимися физико-химическими свойствами, а также своеобразная биота. Природа и причины возникновения меромиксии водоёмов в настоящее время активно исследуются учёными [1; 2; 3].

Основные характеристики оз. Доронинское: глубина – до 6,3 м, площадь водной поверхности – до 480 га, минерализация воды изменяется в пределах от 15 до 35 промилле. Состав солей в основном представлен (в порядке убывания) карбонатами, гидрокарбонатами, хлоридами и сульфидами натрия, кальция и калия. Толщина ледяного покрова в конце зимнего периода может в некоторые годы достигать 1,5 м.

Гидрофизические наблюдения на оз. Доронинское проводились сотрудниками ИПРЭК СО РАН в течение ряда лет [4; 5]. Однако цикл систематических измерений сезонной динамики основных гидрофизических параметров с высоким пространственным разрешением был выполнен в период с ноября 2012 г. по март 2014 г. В зимний и летний сезоны измерения параметров проводились с интервалом около 1 месяца, однако во время деструкции ледяного покрова и ледостава интервал между измерениями составил более 2 месяцев. При измерениях использовались в том числе и разработанные в ИПРЭК СО РАН аппаратные комплексы ПС-3 и ХВ-7 [6].

Значительная часть измерений гидрофизических параметров в зависимости от глубины с отбором проб для лабораторных исследований была проведена в «Точке 31», расположенной в северо-восточной оконечности озера, в которой была зафиксирована наибольшая глубина (в июне 2013 г. – 6,3 м). Также в целях исследования вариаций гидрофизических параметров по акватории озера измерения проводились в «Точке 27», соответствующей геометрическому центру озера, и точках «База» и «Точка 28», которые были выбраны произвольно со смещением к береговой линии относительно геометрического центра озера.

На рис. 1 приведены графики изменения температуры воды в зависимости от глубины в зимний (нижняя группа кривых) и летний (верхние кривые) периоды.

На приведённых графиках следует отметить, что в зимний период температура воды практически постоянна до глубины около 3 м, где наблюдается термоклин, ниже термоклина температура возрастает до $+1,5^{\circ}\text{C}$ в придонном слое, причём скорость роста температуры уменьшается с глубиной. Также следует отметить, что глубина термоклина увеличивается весь зимний период на 0,1–0,2 м в месяц. (Глубина в зимний период отсчитывалась от уровня воды в лунке, что на 4–11 см ниже поверхности ледяного покрова).

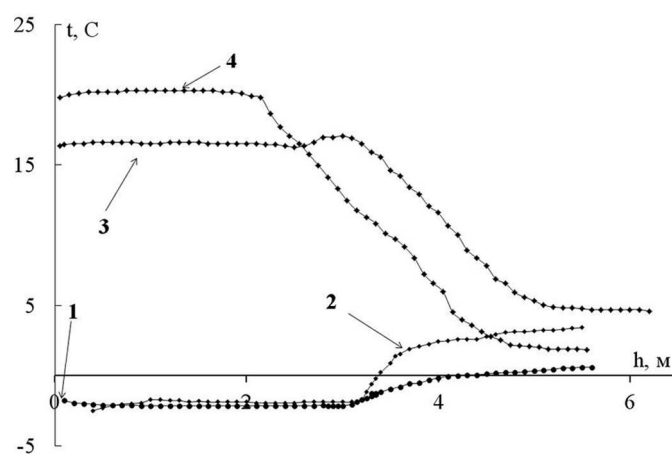


Рис. 1. Температура воды (t) в зависимости от глубины (h).

Дата: 1 – 29 марта 2014; 2 – 20 декабря 2013; 3 – 11 июля 2013; 4 – 6 сентября 2013

В летний период верхние слои озера прогреваются до $+15^{\circ}\text{C}$ – $+20^{\circ}\text{C}$, температура незначительно понижается до глубины около 2 м, где на кривых имеются характерные «изломы». На

глубинах от 2 до 3,5 м температура быстро падает, причём на нижней границе этой зоны самый характер кривых изменяется, и в придонном слое сохраняется «зимняя» температура в $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, в летний период зона термоклина охватывает глубины от 2 до 3,5 м. Смещение вниз верхних «изломов» на температурных кривых, т. е. верхней границы зоны термоклина в начале лета происходит со скоростью до 1 см в день.

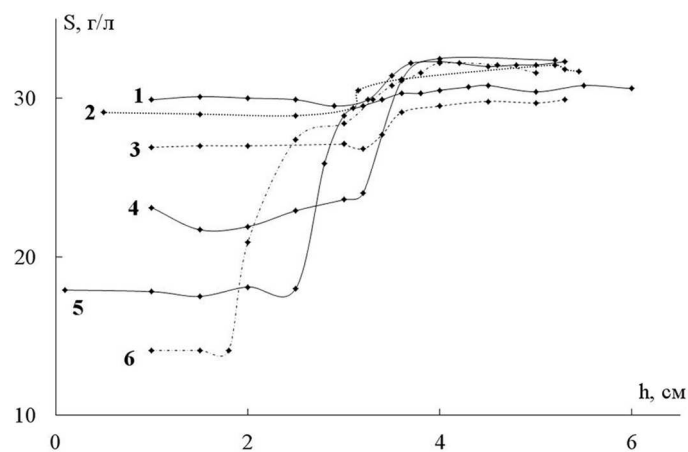


Рис. 2. Солёность воды в зависимости от глубины.

Дата: 1 – 25 марта 2014; 2 – 29 марта 2014; 3 – 12 февраля 2014;
4 – 20 декабря 2013; 5 – 6 сентября 2013; 6 – 7 июля 2013

На рис. 2 приведены графики солёности воды в зависимости от глубины в зимний (верхние кривые) и летний (нижние кривые) периоды. На графиках, соответствующих зимнему периоду, следует отметить практически неизменную солёность до глубины около 3 м, где наблюдается её резкое увеличение (хемоклин), глубже солёность также медленно возрастает вплоть до самого дна озера. В летний период кривая солёности имеет 4 характерных участка. В верхних слоях озера солёность практически неизменна до глубины около 2 м, где наблюдается зона 1 хемоклина. На глубинах от 2 м до 3 м солёность быстро возрастает от 15–18 % до 28–30 %, на глубинах от 3 до 4 м наблюдается зона 2 хемоклина. На глубинах более 4 м солёность медленно растёт (до 32 %) или постоянна.

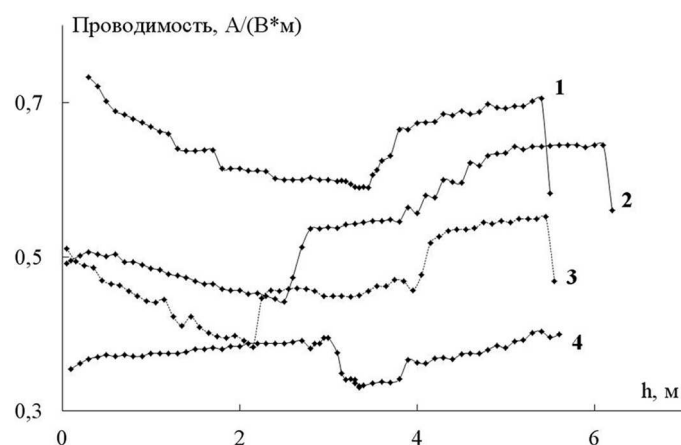


Рис. 3. Приведённая проводимость воды в зависимости от глубины.

Дата: 1 – 25 марта 2014; 2 – 6 сентября 2013; 3 – 11 июля 2013; 4 – 29 марта 2014

Проводимость воды на переменном токе частотой 1000 Гц является чувствительным индикатором изменения параметров среды. Конструкция датчика проводимости аппаратурного комплекса

ХВ-7 имеет особенность, которая позволяет определять по изменению проводимости не только вариации температуры и солёности – главных параметров, от которых зависит проводимость воды, но также и изменения в основных химических параметрах среды. На всех графиках проводимости (рис. 3) отчётливо проявляется положение «летнего» (верхнего) хемоклина. Более того, на кривой от 06.09.13 заметно выражено положение «зимнего» (нижнего) хемоклина, который уже невозможно обнаружить другими методами, например, по изменению солёности.

Проведённые практически одновременно измерения в различных точках озера выявили, что глубинная структуризация универсальна для всего водоёма, и характерные особенности вертикальной стратификации (зоны термо-, хемо-, кондукто- и диаклина) располагаются на одинаковых глубинах с точностью до ошибки измерения (т. е. для ХВ-7 – 1 – 2 см). Однако абсолютные значения гидрофизических параметров могут существенно различаться по акватории озера.

Как видно из представленных графиков гидрофизических параметров, в водоёме активно происходят динамические процессы, имеющие сезонные особенности, которые определяются внешними и внутренними факторами.

В летний период в озере наблюдаются два хемоклина: «зимний» хемоклин, постепенно рассеивающийся на глубине более трёх метров, и летний хемоклин на глубине 1,5–2,5 м, образовавшийся в результате таяния ледяного покрова и продвигающийся вниз за счет размывания пограничного слоя конвективными течениями миксолимниона (верхней зоны).

Приведённые данные измерений гидрофизических параметров оз. Доронинское охватывают все сезоны года и могут быть использованы для понимания природы меромиксии водоемов и анализа причин её возникновения.

Список литературы

1. Рогозин Д. Ю. [и др.]. Тонкослойное вертикальное распределение пурпурных серных бактерий в зонах хемоклина меромиктических озёр Шира и Шунет (Хакасия) // Доклады Академии наук. 2005. Т. 400. № 3. С. 426–429.
2. Boehrer B., et al. Chemocline erosion and its conservation by freshwater introduction to meromictic salt lakes // *Limnologia*. 2014. V. 44. P. 81–89.
3. Picazo A., et al. Spectrophotometric methods for the determination of photosynthetic pigments in stratified lakes: a critical analysis based on comparisons with HPLC determinations in a model lake // *Limnetica*. 2013. V. 3. Issue: 1. P. 139–157.
4. Замана Л. В., Борзенко С. В. Элементная сера в рапе озера Доронинское (Восточное Забайкалье) // Доклады Академии наук. 2011. Т. 438. № 4. С. 515–518.
5. Бордонский Г. С. [и др.]. Анизотропия микроволнового затухания в ледяном покрове содового озера // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2012. № 3 (7). С. 39–44.
6. Лукьянов П. Ю., Гурулёв А. А., Орлов А. О., Цыренжапов С. В. Измерительные приборы для исследования параметров воды меромиктических водоёмов // Учёные записки Забайкал. гос. гум.-пед. ун-та им. Н. Г. Чернышевского. 2013. № 3. С. 60–64.

References

1. Rogozin D. Yu. [i dr.]. Tonkosloinoe vertikal'noe raspredelenie purpurnykh sernykh bakterii v zonakh khemoklina meromikticheskikh ozer Shirai Shunet (Khakasiya) // *Doklady Akademiinauk*. 2005. T. 400. № 3. S. 426–429.
2. Boehrer B., et al. Chemocline erosion and its conservation by fresh water introduction to meromictic salt lakes // *Limnologia*. 2014. V. 44. P. 81–89.
3. Picazo A., et al. Spectrophotometric methods for the determination of photosynthetic pigments in stratified lakes: a critical analysis based on comparisons with HPLC determinations in a model lake // *Limnetica*. 2013. V. 3. Issue: 1. P. 139–157.
4. Zamana L. V., Borzenko S. V. Elementnaya sera v rape ozera Doroninskoe (Vostochnoe Zabaikal'e) // *Doklady Akademii nauk*. 2011. T. 438. № 4. S. 515–518.

5. Bordonskii G. S. [i dr.]. Anizotropiya mikrovolnovogo zatukhaniya v ledyanom pokrove sodovogo ozera // Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy. 2012. № 3(7). S. 39–44.

6. Luk'yanov P. Yu., Gurulev A. A., Orlov A. O., Tsyrenzhapov S. V. Izmeritel'nye pribory dlya issledovaniya parametrov vody meromikticheskikh vodoemov// Uchyonye zapiski Zabaikal. gos. gum.-ped. un-ta im. N. G. Chernyshevskogo. 2013. № 3. S. 60–64.

Статья поступила в редакцию 29.04.2014

УДК 533/93
ББК 22.36

Инна Олеговна Мачихина,
кандидат физико-математических наук, доцент,
Брянский государственный технический университет
(241035, Россия, г. Брянск, бул. 50-летия Октября, 7)
e-mail: ingibordit@yandex.ru

Владимир Евгеньевич Холодовский,
кандидат физико-математических наук, доцент,
Брянский государственный университет им. И. Г. Петровского
(241036, Россия, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14)
e-mail: v-e-holodovsky@yandex.ru

Динамические и испускательные характеристики внутриатомных диполей металлов в модели Ван-дер-Ваальсовских взаимодействий

В модели Ван-дер-Ваальсовских взаимодействий получены выражения для усреднённых спектральных характеристик внутриатомных диполей для металлов с ОЦК и ГЦК кристаллическими решётками. Выведена формула и произведены расчёты испускательной способности поверхностного слоя кристаллов Na и Al.

Ключевые слова: динамическая модель, диполь, кристаллическая решётка, кулоновская сила, спектральное разложение, испускательная способность.

Inna Olegovna Machikhina,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Bryansk State Technical University
(7 Pyatedisyateletie Octyabrya St., Bryansk, Russia, 241035)
e-mail: ingibordit@yandex.ru

Vladimir Yevgenyevich Kholodovskii,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Bryansk State University
(14 Bezhitskaya St., Bryansk, Russia, 241036)
e-mail: v-e-holodovsky@yandex.ru

Dynamic and Emissivity Characteristics of Inter-Atomic Dipoles of Metals in the Model of the Van Der Waals Interactionn

In the model of Van der Waals interactions, expressions are obtained for the average spectral characteristics of sub-atomic dipoles for metals with bcc and fcc lattices. It was made a formula and calculations emissivity of the surface layer of crystals of Na and Al.

Keywords: dynamic model, dipole, crystal lattice, Coulomb force, spectral response decomposition, emissivity.

В работах [1–6] в адиабатическом приближении была построена динамическая модель, описывающая вибрацию кристаллов инертных газов (КИГ), металлов с ОЦК и ГЦК кристаллическими решётками, а также кристаллов твёрдых растворов металлов со структурой CsCl. При определении сил межатомного взаимодействия использовался механизм Ван-дер-Ваальсовских связей. Разработанные математические методы позволили произвести расчёты дисперсионных кривых, фоновых спектров, температурных зависимостей теплоёмкости и среднеквадратичных смещений атомов для КИГ при различных сжатиях, а также для ряда элементов 1–5 групп таблицы Д. И. Менделеева. Расчёты производились без использования подгоночных параметров, а исходными данными служили значения упругих констант, атомная масса и параметр решётки соответствующего вещества. Для КИГ в тех случаях, когда данные по упругим константам отсутствовали, использовались экспериментальные данные о значениях дисперсионных кривых на границе зоны Бриллюэна. Полученные результаты обнаружили достаточно хорошее согласие с имеющимися экспериментальными данными.

В настоящей работе, исходя из уравнения термодинамического равновесия, получены усреднённые спектральные характеристики внутриатомных диполей в металлах, имеющих ОЦК и ГЦК кристаллические решётки. Это позволило получить выражение и сделать расчёты испускательной способности поверхностного слоя в рассматриваемых металлах. По своему порядку полученное выражение хорошо согласуется с известной формулой М. Планка для испускательной способности абсолютно чёрного тела.

1. Спектральное разложение внутриатомного диполя.

Пусть рассматриваемая моноатомная решётка имеет форму куба, содержащего n^3 элементарных кубических ячеек, а N_r – число атомов в решётке. Положим $N = \{1, 2, \dots, 2n\}$.

Зададим в пространстве систему кристаллографических координат $Oxyz$ с единичными направляющими векторами $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ координатных осей так, чтобы положение каждого узла решётки могло быть задано по формуле:

$$\mathbf{r}_{ijk} = \frac{a}{2}(i\mathbf{e}_x + j\mathbf{e}_y + k\mathbf{e}_z), \quad (1)$$

где a – параметр решётки, а $i, j, k \in N$ – некоторый набор чисел. Обозначим через Λ подмножество в N^3 , образованное всеми такими наборами $\xi = (i, j, k)$, для которых формула (1) определяет узел решётки.

Считается, что в процессе колебаний атомов металлов в каждом из них наводится внутриатомный диполь, одним из полюсов которого является остов атома, а другим – центр заряда его внешней электронной оболочки (в. э. о.). Обозначим через \mathbf{p}_ξ плечо дипольного момента атома A_ξ , наведённого за счёт его относительного перемещения с соседними атомами.

На внутриатомный диполь атома A_ξ действует кулоновская сила \mathbf{Q}_ξ , наведённая со стороны диполей остальных атомов решётки, в результате чего центр заряда в. э. о. атома A_ξ и следовательно плечо его дипольного момента, получает некоторое приращение $\Delta\mathbf{p}_\xi$ и становится равным

$$\mathbf{P}_\xi = \mathbf{p}_\xi + \Delta\mathbf{p}_\xi. \quad (2)$$

Наведённый дополнительный дипольный момент создает частичное экранирование силы \mathbf{Q}_ξ , с учётом чего внешняя сила, действующая на остов атома, становится равной

$$\mathbf{F}_\xi = \mathbf{Q}_\xi - \frac{\beta\Delta\mathbf{p}_\xi}{\alpha},$$

где α – поляризуемость атома, $\beta = q^2/4\pi\epsilon_0$, q – эффективный заряд диполя.

В первом приближении сила реакции \mathbf{R}_ξ на излучение внутриатомного диполя, приложенная к обоим его полюсам и имеющая на них противоположные направления, пропорциональна плечу диполя и равна [4; 5; 7]

$$\mathbf{R}_\xi = -\frac{2\beta}{3r_{ef}^3}\mathbf{P}_\xi,$$

где r_{ef} – радиус сферы, через которую плотность потока энергии излучения внутриатомного диполя считается равным работе силы реакции за единицу времени.

В состоянии термодинамического равновесия на любом временном промежутке средняя энергия, поглощаемая атомом, совпадает со средней энергией, излучаемой им. Данное условие будет выполнено, если считать, что внешняя, частично экранированная кулоновская сила уравновешивается силой реакции, т. е.

$$0 = \mathbf{F}_\xi + \mathbf{R}_\xi = \mathbf{Q}_\xi - \frac{2\beta}{3r_{ef}^3}\mathbf{P}_\xi - \left(\frac{\beta}{\alpha} + \frac{2\beta}{3r_{ef}^3}\right)\Delta\mathbf{p}_\xi. \quad (3)$$

В состоянии термодинамического равновесия уравнение движения остова атома A_ξ принимает вид [1; 5]

$$\mu_0 \ddot{\mathbf{u}}_\xi = -\frac{\beta}{\alpha} \mathbf{p}_\xi, \quad (4)$$

где μ_0 – масса остова; $\mathbf{u}_\xi(t)$ – вектор его смещения из положения равновесия в момент времени t . Решение этого уравнения $\mathbf{u}_\xi(t)$ представляется в виде суперпозиции отдельных колебательных мод, определяемых волновым вектором

$$\mathbf{K} = \frac{2\pi}{na} (k_x \mathbf{e}_x + k_y \mathbf{e}_y + k_z \mathbf{e}_z),$$

где k_x, k_y, k_z – целые числа. Область допустимых значений волнового вектора обуславливается требованием цикличности границ. Каждое колебание частоты $\omega_{K,m}$ и направления поляризации, задаваемого единичным вектором $\mathbf{g}_{K,m}$, может быть представлено стоячей волной следующего вида

$$\mathbf{u}_{\xi,K,m}(t) = B_{\xi,K,m} \mathbf{g}_{K,m} \sin(\omega_{K,m} t + \varphi_{K,m}), \quad m = 1, 2, 3, \quad (5)$$

где

$$B_{\xi,K,m} = A_{K,m} \sin(\mathbf{K} \mathbf{r}_\xi + \psi_{K,m}), \quad (6)$$

\mathbf{r}_ξ – радиус-вектор узла атома A_ξ , а $B_{\xi,K,m}$ – амплитуда одного из трёх колебаний, определяемых волновым вектором \mathbf{K} . Каждое такое колебание является наложением двух колебательных мод, представляющих прямую и обратную бегущие волны, амплитуды которых равны $A_{K,m}/2$. Общее число таких колебаний равно $3N_r/2$.

Отсюда решение уравнения (4) теперь может быть записано в виде

$$\mathbf{u}_\xi(t) = \sum_{K,m} B_{\xi,K,m} \sin(\omega_{K,m} t + \varphi_{K,m}) \mathbf{g}_{K,m}. \quad (7)$$

Вычисляя сумму квадратов амплитуд $B_{\xi,K,m}$ по всем атомам решётки, получаем

$$\sum_{\xi \in \Lambda} B_{\xi,K,m}^2 = \frac{1}{2} A_{K,m}^2 N_r. \quad (8)$$

Используя известную формулу Планка [8], нетрудно выразить величину $A_{K,m}^2$:

$$\frac{1}{8} A_{K,m}^2 = \frac{\hbar}{N_r \mu_0 \omega_{K,m} [\exp(\hbar \omega_{K,m}/kT) - 1]}. \quad (9)$$

Формула (9) выражает средний квадрат амплитуды одной колебательной моды, поляризованной в направлении вектора $\mathbf{g}_{K,m}$, по всем атомам решётки. Если каждый атом рассматривать как осциллятор с тремя степенями свободы, то среднеквадратичное смещение атомов решётки в рассматриваемой моде колебаний выразится формулой

$$[\mathbf{u}_{K,m}^2] = \frac{\hbar}{3N_r \mu_0 \omega_{K,m} [\exp(\hbar \omega_{K,m}/kT) - 1]}.$$

Рассмотрим уравнение (4). Используя (7), приходим к равенству

$$\mathbf{p}_\xi(t) = \frac{\alpha \mu_0}{\beta} \sum_{K,m} \omega_{K,m}^2 B_{\xi,K,m} \sin(\omega_{K,m} t + \varphi_{K,m}) \mathbf{g}_{K,m}. \quad (10)$$

Кулоновская сила $\mathbf{Q}_{\xi\xi'}$, действующая на остов атома A_ξ со стороны диполя, наведённого в атоме $A_{\xi'}$, в первом приближении выражается известной формулой

$$\mathbf{Q}_{\xi\xi'} = \frac{\beta}{r_{\xi\xi'}^3} (3 \langle \mathbf{P}_{\xi'}, \mathbf{e}_{\xi\xi'} \rangle \mathbf{e}_{\xi\xi'} - \mathbf{P}_{\xi'}),$$

где $\mathbf{e}_{\xi\xi'}$ – единичный вектор, указывающий направление от узла атома A_ξ к узлу атома $A_{\xi'}$, $r_{\xi\xi'}$ – расстояние между этими узлами, а скобки $\langle \rangle$ обозначают скалярное произведение векторов.

Тогда кулоновская сила \mathbf{Q}_ξ , действующая на остов атома A_ξ со стороны всех остальных атомов решётки, определяется формулой

$$\mathbf{Q}_\xi = \sum_{i=1}^l \frac{\beta}{r_i^3} \sum_{\xi' \in S_i(\xi)} [3 \langle \mathbf{P}_{\xi'}, \mathbf{e}_{\xi\xi'} \rangle \mathbf{e}_{\xi\xi'} - \mathbf{P}_{\xi'}], \quad (11)$$

где внутренняя сумма выражает составляющую силы \mathbf{Q}_ξ со стороны i -й координационной сферы $S_i(\xi)$, r_i – соответствующее расстояние, а внешнее суммирование ведётся по всем координационным сферам атома A_ξ . Отсюда с учётом равенства (2) получим:

$$\mathbf{Q}_\xi = \mathbf{q}_\xi + \Delta \mathbf{q}_\xi, \quad (12)$$

где

$$\mathbf{q}_\xi = \sum_{i=1}^l \frac{\beta}{r_i^3} \sum_{\xi' \in S_i(\xi)} [3 \langle \mathbf{p}_{\xi'}, \mathbf{e}_{\xi\xi'} \rangle \mathbf{e}_{\xi\xi'} - \mathbf{p}_{\xi'}],$$

$$\Delta \mathbf{q}_\xi = \sum_{i=1}^l \frac{\beta}{r_i^3} \sum_{\xi' \in S_i(\xi)} [3 \langle \Delta \mathbf{p}_{\xi'}, \mathbf{e}_{\xi\xi'} \rangle \mathbf{e}_{\xi\xi'} - \Delta \mathbf{p}_{\xi'}].$$

Тогда согласно (10) получаем

$$\mathbf{q}_\xi = \alpha \mu_0 \sum_{K,m} \omega_{K,m}^2 \sin(\omega_{K,m} t + \varphi_{K,m}) \mathbf{h}_{K,m}, \quad (13)$$

где

$$\mathbf{h}_{K,m} = \sum_{i=1}^l \frac{1}{r_i^3} \sum_{\xi' \in S_i(\xi)} (3 \langle \mathbf{g}_{K,m}, \mathbf{e}_{\xi\xi'} \rangle \mathbf{e}_{\xi\xi'} - \mathbf{g}_{K,m}) B_{\xi',K,m}.$$

Непосредственно можно установить, что

$$\mathbf{h}_{K,m} = \frac{2B_{\xi,K,m}}{a^3} \sum_{i=1}^l \left(\frac{a}{r_i} \right)^3 \sum_{\xi' \in S_i(\xi)} (3 \langle \mathbf{g}_{K,m}, \mathbf{e}_{\xi\xi'} \rangle \mathbf{e}_{\xi\xi'} - \mathbf{g}_{K,m}) \cos(\mathbf{K} \Delta \mathbf{r}_{\xi\xi'}), \quad (14)$$

где $\Delta \mathbf{r}_{\xi\xi'}$ – вектор сдвига от узла атома A_ξ к узлу атома $A_{\xi'}$, а $\bar{S}_i(\xi)$ – какая-нибудь полусфера i -й координационной сферы атома A_ξ .

Сумма в правой части равенства (14) представляет собой линейную операцию над вектором $\mathbf{g}_{K,m}$, матрицу которой мы обозначим через \hat{H}_K . Тогда равенство (13) принимает вид:

$$\mathbf{q}_\xi = \frac{2\alpha\mu_0}{a^3} \sum_{K,m} \omega_{K,m}^2 \sin(\omega_{K,m} t + \varphi_{K,m}) B_{\xi,K,m} \hat{H}_K \mathbf{g}_{K,m}. \quad (15)$$

Возвращаясь к равенству (3), запишем его как

$$\mathbf{q}_\xi - \frac{2\beta}{3r_{ef}^3} \mathbf{p}_\xi = \left(\frac{\beta}{\alpha} + \frac{2\beta}{3r_{ef}^3} \right) \Delta \mathbf{p}_\xi - \Delta \mathbf{q}_\xi. \quad (16)$$

Согласно (10) и (15) левая часть равенства (16) выражается формулой:

$$\mathbf{q}_\xi - \frac{2\beta}{3r_{ef}^3} \mathbf{p}_\xi = \frac{2\alpha\mu_0}{a^3} \sum_{K,m} \omega_{K,m}^2 \sin(\omega_{K,m}t + \varphi_{K,m}) B_{\xi,K,m} \left(\hat{H}_K - \frac{a^3}{3r_{ef}^3} \hat{E} \right) \mathbf{g}_{K,m}, \quad (17)$$

(\hat{E} – единичная матрица) и представляет собой линейную комбинацию стоячих волн $\sin(\omega_{K,m}t + \varphi_{K,m}) B_{\xi,K,m}$ с векторными коэффициентами. Следовательно, равенство (16) может быть выполнено только в том случае, когда и его правая часть есть та же самая линейная комбинация указанных стоячих волн. В свою очередь, это условие может быть выполнено лишь тогда, когда $\Delta \mathbf{p}_\xi(t)$ представляется в виде

$$\Delta \mathbf{p}_\xi(t) = \sum_{K,m} \sin(\omega_{K,m}t + \varphi_{K,m}) B_{\xi,K,m} \Delta \mathbf{d}_{K,m}, \quad (18)$$

где $\Delta \mathbf{d}_{K,m}$ – безразмерный вектор, указывающий направление поляризации соответствующей стоячей волны.

Вычисляя второе слагаемое $\Delta \mathbf{q}_\xi$ в правой части формулы (12), аналогично формуле (15) приходим к равенству:

$$\Delta \mathbf{q}_\xi(t) = \frac{2\beta}{a^3} \sum_{K,m} \sin(\omega_{K,m}t + \varphi_{K,m}) B_{\xi,K,m} \hat{H}_K \Delta \mathbf{d}_{K,m}. \quad (19)$$

Приравнявая соответствующие коэффициенты правой и левой частей равенства (16), получим:

$$\frac{\alpha\mu_0\omega_{K,m}^2}{\beta} \left(\hat{H}_K - \frac{1}{3r_{ef}^3} \hat{E} \right) \mathbf{g}_{K,m} = \left(\gamma \hat{E} - \hat{H}_K \right) \Delta \mathbf{d}_{K,m},$$

где

$$\gamma = \frac{a^3}{3r_{ef}^3} + \frac{a^3}{2\alpha}.$$

Безразмерная величина γ представляет собой параметр, характеризующий электрическое поле, создаваемое внутриатомным диполем между его полюсами. Значение величины γ может быть получено путём расчёта поправки на электронный вклад в теплоёмкость металлов, обеспечивающей наилучшее согласие с экспериментом [7].

Обозначим через \hat{G}_K матрицу, обратную к $\gamma \hat{E} - \hat{H}_K$. Тогда множитель $\Delta \mathbf{d}_{K,m}$ приводится к виду:

$$\Delta \mathbf{d}_{K,m} = \frac{\mu_0 a^3 \omega_{K,m}^2}{2\beta} \left(\hat{G}_K - \frac{2\alpha}{a^3} \hat{E} \right) \mathbf{g}_{K,m}. \quad (20)$$

Подставляя (20) в (18) и суммируя с (10), согласно (2) получаем:

$$\mathbf{P}_\xi = \sum_{K,m} \mathbf{d}_{K,m} \sin(\omega_{K,m}t + \varphi_{K,m}) B_{\xi,K,m}, \quad (21)$$

где

$$\mathbf{d}_{K,m} = \frac{\mu_0 a^3 \omega_{K,m}^2}{2\beta} \hat{G}_K \mathbf{g}_{K,m}. \quad (22)$$

Тогда $\mathbf{d}_{K,m}$ – безразмерный вектор, а формула (21) принимает вид:

$$\mathbf{P}_\xi = \sum_{K,m} \mathbf{P}_{\xi,K,m}, \quad (23)$$

где

$$\mathbf{P}_{\xi,K,m}(t) = B_{\xi,K,m} \sin(\omega_{K,m}t + \varphi_{K,m}) \mathbf{d}_{K,m}. \quad (24)$$

2. Усреднённые характеристики внутриатомного диполя.

Рассмотрим колебание, заданное по формуле (24). Средний квадрат плеча внутриатомного диполя по времени и по всем атомам решётки для данных \mathbf{K} и m , очевидно, выражается формулой:

$$[\mathbf{P}_{K,m}^2] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{TN_r} \int_0^T \sum_{\xi \in \Lambda} \mathbf{P}_{\xi,K,m}^2(t) dt.$$

Вычисляя правую часть, с учётом формул (8), (9) приходим к равенству:

$$[\mathbf{P}_{K,m}^2] = \frac{1}{4} A_{K,m}^2 \mathbf{d}_{K,m}^2 = \frac{2\hbar \mathbf{d}_{K,m}^2}{N_r \mu_0 \omega_{K,m} [\exp(\hbar \omega_{K,m}/kT) - 1]}. \quad (25)$$

Согласно (23) средний квадрат плеча внутриатомного диполя выражается формулой:

$$[\mathbf{P}^2] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{TN_r} \int_0^T \sum_{\xi \in \Lambda} \left(\sum_{K,m} \mathbf{P}_{\xi,K,m}^2(t) \right)^2 dt.$$

Для вычисления подынтегрального выражения поменяем в нём порядок суммирования. Тогда

$$\sum_{\xi \in \Lambda} \mathbf{P}_\xi^2 = \sum_{K,L} \sum_{\xi \in \Lambda} \sum_{m,l=1}^3 \langle \mathbf{P}_{\xi,K,m}, \mathbf{P}_{\xi,L,l} \rangle.$$

Если $\mathbf{K} \neq \mathbf{L}$, то, как нетрудно проверить, внутренняя сумма по ξ равна нулю. Поэтому

$$\sum_{\xi \in \Lambda} \mathbf{P}_\xi^2 = \sum_K \sum_{\xi \in \Lambda} \sum_{m,l=1}^3 \langle \mathbf{P}_{\xi,K,m}, \mathbf{P}_{\xi,K,l} \rangle.$$

Нетрудно также проверить, что

$$\begin{aligned} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \sum_{m,l=1}^3 \langle \mathbf{P}_{\xi,K,m}(t), \mathbf{P}_{\xi,K,l}(t) \rangle dt &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \sum_{m=1}^3 \mathbf{P}_{\xi,K,m}^2(t) dt = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{m=1}^3 B_{\xi,K,m}^2 \mathbf{d}_{K,m}^2. \end{aligned}$$

Таким образом, справедливо равенство

$$[\mathbf{P}^2] = \frac{1}{4} \sum_{K,m} A_{K,m}^2 \mathbf{d}_{K,m}^2.$$

Согласно формуле (9) окончательно получаем:

$$[\mathbf{P}^2] = \frac{2\hbar}{\mu_0 N_r} \sum_{K,m} \frac{\mathbf{d}_{K,m}^2}{\omega_{K,m} [\exp(\hbar\omega_{K,m}/kT) - 1]}. \quad (26)$$

Вернёмся к формуле (24) и рассмотрим вектор

$$\mathbf{P}''_{\xi,K,m}(t) = -\omega_{K,m}^2 B_{\xi,K,m} \sin(\omega_{K,m}t + \varphi_{K,m}) \mathbf{d}_{K,m}.$$

Подобно тому, как были получены формулы (25), (26), приходим к выражениям

$$[\mathbf{P}''^2_{K,m}] = \frac{2\hbar\omega_{K,m}^3 \mathbf{d}_{K,m}^2}{N_r \mu_0 [\exp(\hbar\omega_{K,m}/kT) - 1]}, \quad (27)$$

$$[\mathbf{P}''^2] = \frac{2\hbar}{N_r \mu_0} \sum_{K,m} \frac{\omega_{K,m}^3 \mathbf{d}_{K,m}^2}{\exp(\hbar\omega_{K,m}/kT) - 1}. \quad (28)$$

Воспользуемся теперь известной формулой из электродинамики [9], выражающей плотность энергии, излучаемой диполем. Согласно этой формуле, полная энергия, излучаемая составляющей $\mathbf{P}''_{\xi,K,m}$ внутриатомного диполя за единицу времени, равна:

$$W_{\xi,K,m} = \frac{2\beta}{3c^3} (\mathbf{P}''_{\xi,K,m})^2.$$

Усредняя по времени и по всем атомам решётки, согласно (27) приходим к выражению для средней энергии, излучаемой в единицу времени каждым отдельным атомом решётки на частоте $\omega_{K,m}$ в пределах полного телесного угла

$$[W_{K,m}] = \frac{2\beta\hbar\omega_{K,m}^3 \mathbf{d}_{K,m}^2}{3N_r c^3 \mu_0 [\exp(\hbar\omega_{K,m}/kT) - 1]}. \quad (29)$$

Рассмотрим в кристалле плоскость (100). Плотность заполнения её атомами в случае ОЦК и ГЦК решёток соответственно равна $1/a^2$ и $2/a^2$. Тогда плотность энергии, излучаемой атомами такой поверхности с единицы её площади в пределах телесного угла 2π , например, в случае ОЦК решётки выразится формулой:

$$R_{K,m} = \frac{4\beta\hbar\omega_{K,m}^3 \mathbf{d}_{K,m}^2}{3N_r a^2 c^3 \mu_0 [\exp(\hbar\omega_{K,m}/kT) - 1]}. \quad (30)$$

Пусть равенство $\mathbf{d}^2(\omega) = [\mathbf{d}^2(\omega_{K,m})]$ выражает средний квадрат вектора $\mathbf{d}_{K,m}$ по всем значениям \mathbf{K} и m , для которых частота $\omega_{K,m}$ принадлежит единичному интервалу $\omega < \omega_{K,m} < \omega + d\omega$, а функция $3N_r g(\omega)$ представляет плотность состояний ОЦК решётки. Тогда плотность энергии излучения рассматриваемой плоскости, приходящаяся на интервал частот $d\omega$, выразится формулой:

$$dR(\omega, T) = \frac{4\beta\hbar\omega^3 g(\omega) \mathbf{d}^2(\omega) d\omega}{a^2 c^3 \mu_0 [\exp(\hbar\omega/kT) - 1]}.$$

Положим:

$$r(\omega, T) = \frac{4\beta\hbar\omega^3 g(\omega) \mathbf{d}^2(\omega)}{a^2 c^3 \mu_0 [\exp(\hbar\omega/kT) - 1]}. \quad (31)$$

По своему смыслу функция $r(\omega, T)$ представляет испускательную способность поверхностного слоя грани ОЦК кристаллической решетки, ориентированной в направлении [100]. Сравнивая выражение (31) с известной формулой Планка для испускательной способности абсолютно чёрного тела

$$f(\omega, T) = \frac{\hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2 [\exp(\hbar \omega / kT) - 1]},$$

нетрудно убедиться в том, что эти величины приблизительно одного и того же порядка.

Ниже на рис. 1–6 приведены спектральные зависимости среднего плеча дипольного момента и средней энергии диполя кристалла Na при 78К в направлении [111] и для кристалла Al при 298 К в направлении [110] для продольной и поперечной поляризаций (на рис. 1–6: 1 – продольная поляризация, 2 – поперечная поляризация; для Al: 2 – поперечная поляризация в направлении оси z). На рис. 8–10 представлены фоновые спектры и испускательные способности для Na и Al при соответствующих температурах.

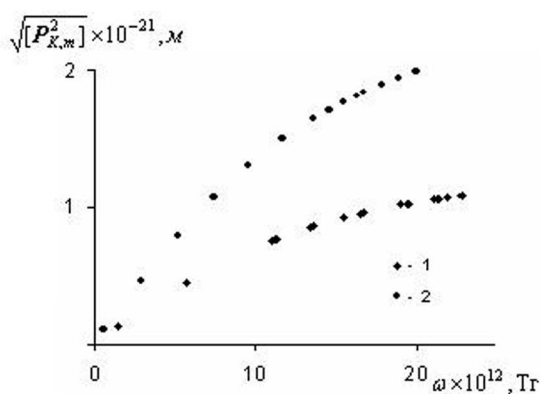


Рис. 1. Спектральная зависимость среднего плеча дипольного момента кристалла Na в направлении [111]

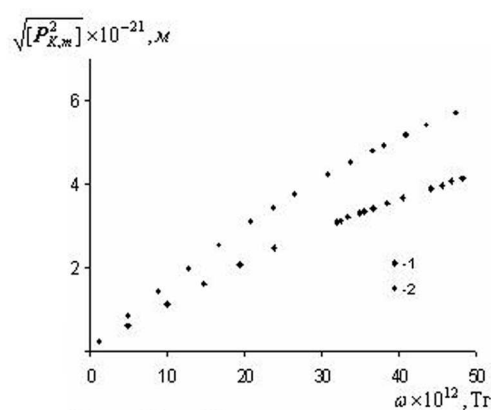


Рис. 2. Спектральная зависимость среднего плеча дипольного момента

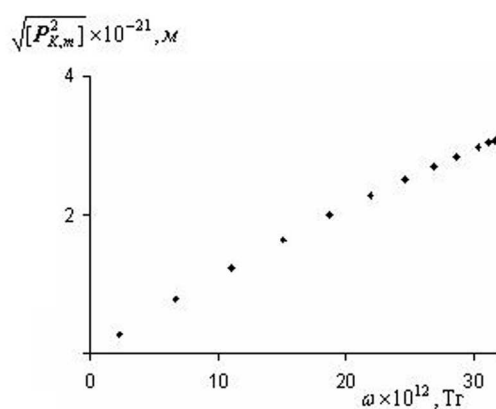


Рис. 3. Спектральная зависимость среднего плеча дипольного момента кристалла Al в направлении [110]: поперечная поляризация в плоскости xy

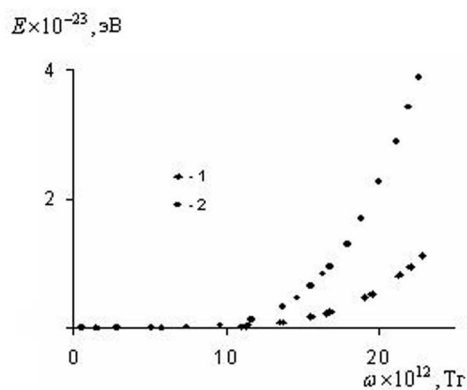


Рис. 4. Средняя энергия диполя кристалла Na в направлении [111]

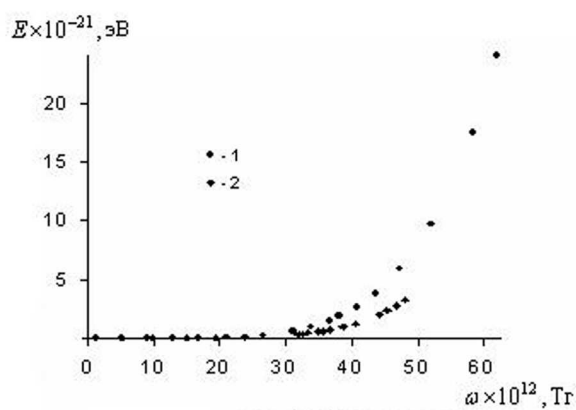


Рис. 5. Средняя энергия диполя кристалла Al в направлении [110]

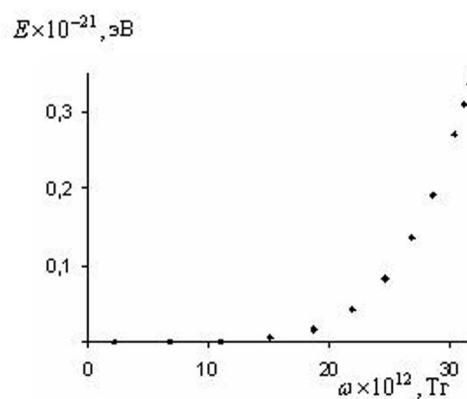


Рис. 6. Средняя энергия диполя кристалла Al в направлении [110]: поперечная поляризация в плоскости xy

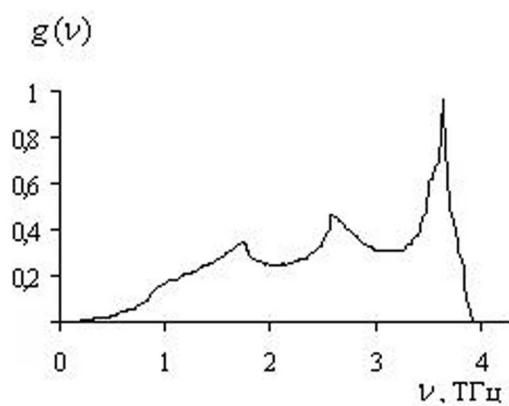


Рис. 7. Фононный спектр Na

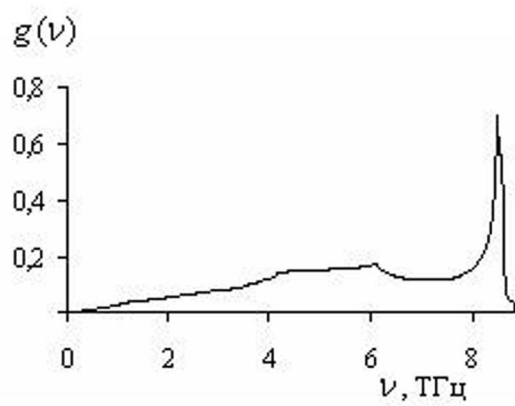


Рис. 8. Фононный спектр Al

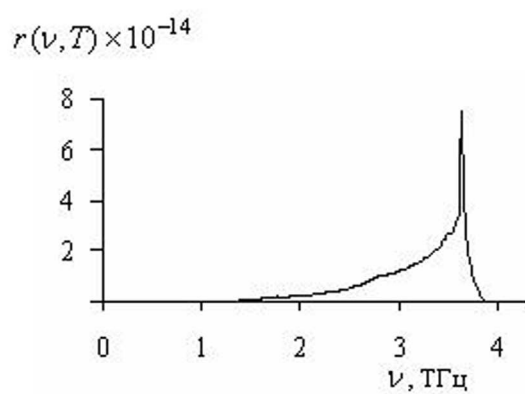


Рис. 9. Испускательная способность кристалла Na

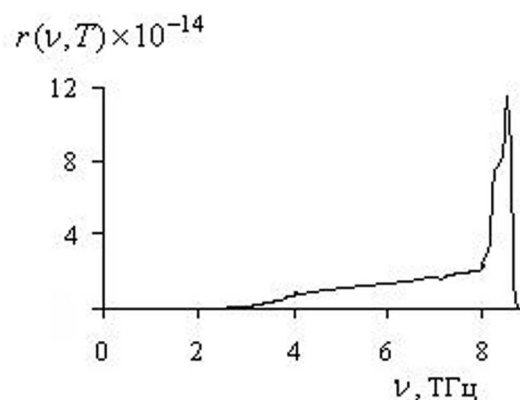


Рис. 10. Испускательная способность кристалла Al

Список литературы

1. Холодовский В. Е., Мачихина И. О., Кульченков Е. А. Принцип длинных волн и дисперсионные соотношения для кубических кристаллических решёток в модели диполь-дипольных взаимодействий // Известия СамНЦ РАН. Сер. «Физика и электроника». 2009. Т. 11. № 5(31). С. 49–55.
2. Холодовский В. Е., Мачихина И. О., Кульченков Е. А. Расчёт теплоёмкости и среднеквадратичных смещений по фононным спектрам для кристаллов с ОЦК и ГЦК решёткой // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Математика. Механика. Физика». 2010. Вып. 2. № 9. С. 101–109.
3. Мачихина И. О., Холодовский В. Е. Расчёт теплофизических свойств кристаллов инертных газов по упругим константам // Известия СамНЦ РАН. Сер. «Физика и электроника». 2012. Т. 14. № 4. С. 116–120.
4. Холодовский В. Е., Сидоров А. А. Поток энергии и сила реакции на излучение внутриатомного диполя // Учёные записки ЗабГГПУ. 2012. №3(44). С. 141–144.
5. Мачихина И. О. Динамика кубических кристаллов в модели Ван-дер-Ваальсовских связей: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Б., 2011. 198 с.
6. Холодовский В. Е., Краюшкина Е. Ю. Дисперсионные соотношения для кристаллов твёрдых растворов со структурой CsCl // Учёные записки ЗабГУ. 2013. №3(50). С. 121–131.
7. Холодовский В. Е., Мачихина И. О., Кульченков Е. А. Поправка на электронный вклад в теплоёмкость металлов в модели Ван-дер-Ваальсовских взаимодействий // Вестник БГТУ. 2010. №4. С. 115–123.
8. Киттель Ч. Введение в физику твёрдого тела. М.: Наука, 1978. 792 с.
9. Измайлов С. В. Курс электродинамики. М.: Учпедгиз, 1962. 440 с.

References

1. Kholodovskii V. E., Machikhina I. O., Kul'chenkova E. A. Printsip dlinnykh voln m dispersionnye sootnosheniya dlya kubicheskikh kristalicheskikh reshyotok v modeli dipol'-dipol'nykh vzaimodeistvii // Izvestiya SamNTs RAN. SCher. «Fizika i elektronika». 2009. T. 11. № 5(31). S. 49–55.
2. Kholodovskii V. E., Machikhina I. O., Kul'chenkova E. A. Raschyot teployomkosti i srednekvadraticnykh smeshchenii po fonovym spektram dlya kristallov s OTsK i GTsK reshetkoi // Vestnik YuUrGU. Ser. «Matematika. Mekhanika. Fizika». 2010. Vyp. 2. № 9. S. 101–109.
3. Machikhina I. O., Kholodovskii V. E. Raschet teplofizicheskikh svoystv kristallov inertnykh gazov po uprugim konstantam // Izvestiya SamNTs RAN. SCher. «Fizika i elektronika». 2012. T. 14. № 4. S. 116–120.
4. Kholodovskii V. E., Sidorov A. A. Potok energii i sila reaktсии na izluchenie vnutriatomnogo diapolya // Uchyonye zpiski ZabGGPU 2012. № 3(44). S. 141–144.
5. Machikhina I. O. Dinamika kubicheskikh kristallov v modeli Van-der-Vaal'skikh svyazei: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk. B., 2011. 198 s.
6. Kholodovskii V. E., Krayushkin E. Yu. Dispersionnye sootnosheniya dlya kristallov tvyordykh rastvorov so strukturoi CsCl // Uchyonye zpiski ZabGGPU 2012. № 3(50). S. 121–131.
7. Kholodovskii V. E., Machikhina I. O., Kul'chenkova E. A. Popravka na elektronnyi vlad v teplyomkost' metallov v modeli Van-der-Vaal'skikh vzaimodeistvii // Vestnik BGTU. 2010. № 4. S. 115–123.
8. Kittel' Ch. Vvedenie v fiziku tverdogo tela. M.: Nauka, 1978. 792 s.
9. Izmailov S. V. Kurs elektrodinamiki. M.: Uchpedgiz. 1962. 440 s.

Статья поступила в редакцию 06.05.2014

УДК 553.4
ББК 33.26

*Татьяна Юрьевна Панина,
ассистент,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул.Александро-Заводская, 30)
e-mail: panirais@mail.ru*

Использование комплексной оценки при определении экономической эффективности разработки россыпных месторождений

Представлена необходимость комплексной оценки как действующих, так и резервных месторождений россыпного золота. Обоснована оценка при определении экономической привлекательности отработки месторождений россыпного золота через сопоставление условий эксплуатации, возможностей предприятия, планируемых результатов деятельности с передовыми показателями. Для сопоставления используются методы многомерных группировок, индексирования, нормирования. Данные исследования дают возможность рассчитать комплексную оценку условий, возможностей и результатов работы предприятий, рассчитать регламентирующую функцию, отклонение от которой показывает «ранг» месторождения в ряду предприятий или его «ранг» по отношению к внутриотраслевому значению. Расчётное отклонение между фактическим значением и теоретической оценкой результатов поможет показать степень эффективности работы действующего предприятия в зависимости от горно-геологических и технико-экономических особенностей, а также установить степень их влияния на результаты работы и принять решения по их воздействию на конечные результаты деятельности предприятия через факторные признаки. Расчётное отклонение позволяет оценить степень инвестиционной привлекательности месторождения и определить целесообразность кредитования.

Ключевые слова: месторождение россыпного золота, комплексная оценка, статистическая группировка, индексирование, экономико-математический аппарат, расчётное отклонение.

*Tatyana Yuryevna Panina,
Assistant,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: panirais@mail.ru*

The Use of Integrated Assessment in Determining of the Economic Efficiency of Alluvial Deposits Development

The necessity for a comprehensive assessment of active and reserve deposits of placer gold is considered. The assessment, in determining of the economic attractiveness of the deposits of placer gold mine through a comparison of operating conditions, opportunities, the results planned activities leading indicators, is given. For comparison the methods of multidimensional groups, index, rationing are used. The obtained data give the opportunity to calculate a comprehensive assessment of the conditions, possibilities and results of enterprises work, to calculate regulatory function, which shows the deviation from the "grade" field in a number of enterprises or "grade" in relation to the power engineering. Estimated deviation between the actual and theoretical evaluation of the results will show the extent of the effectiveness of the existing enterprise depending on geological and technical-economic characteristics, as well as to establish the degree of their influence on the results and decide on their impact on the final results of the company through the factorial evidence. Estimated deviation provides a measure of the investment attractiveness of the field and determines the appropriateness of credit.

Keywords: gold-placer deposit, integrated assessment, statistical grouping, indexation, economic-mathematical analyses, calculated deviation.

Индивидуальность россыпных месторождений и непрерывное изменение условий эксплуатации определяют специфику их комплексной технологико-экономической оценки [4].

Особенности каждого конкретного месторождения обуславливаются разнообразием и значительной вариацией: природных условий (географо-климатических, горно-геологических), технологических факторов (способов вскрытия, систем разработки, схем и режима горных работ, способов отвалообразования), технических и организационно-экономических условий (наличия и единичной мощности выемочно-погрузочного и обогатительного оборудования, структуры предприятий и режима работы во времени, системы оплаты труда).

Необходимость комплексной оценки [5] как действующих, так и резервных россыпных месторождений связана с рядом причин:

1. При определении стартовых цен месторождений на аукционах. Существующая в настоящее время методика предполагает определение стартовой цены, исходя из запасов золота конкретного месторождения и сложившихся цен на него. Факторы, усложняющие отработку месторождений, учитываются косвенно, понижающие (повышающие) поправочные коэффициенты стартовой цены носят субъективный характер. При этом не учитываются десятки факторов, усложняющие отработку месторождений (такие как валунистость россыпи, категория пород, поражённость многолетней мерзлотой, содержание золота, удалённость от пристанционной базы, наличие и категория дорог и множество других факторов). Стартовая цена должна корректироваться в большую или меньшую сторону в зависимости от комплексной оценки всего ряда факторов влияющих на экономические показатели отработки месторождения.

2. Фиксированная внутриотраслевая горная рента в виде налога на добычу также не отражает условий эксплуатации месторождений. В то же время Государственной Думой внесен законопроект [3] о введении дифференцированного налога на добычу. Комплексная оценка облегчит процедуру определения размеров этого вида платежа в пределах его предполагаемого диапазона.

3. При определении налоговых льгот, в частности, налога на землю и других налогов было бы целесообразно использовать результаты комплексной оценки для дифференциации последних.

4. Определить эффективность работы предприятия с точки зрения его места в ряду предприятий отрасли или внутри отрасли и с народнохозяйственных позиций можно на основе сравнения с результатами деятельности других предприятий и, в первую очередь, с накопленным передовым опытом.

5. При определении инвестиционной привлекательности месторождений, при поиске потенциального кредитора комплексная оценка позволит раскрыть все отрицательные и положительные факторы освоения того или иного месторождения.

6. При рабочем проектировании отработки месторождений широко используются технико-экономические показатели предприятий-аналогов. При этом аналоги определяются проектировщиком исходя из его опыта, т. е. носят субъективный характер [8]. Разработанный комплекс приёмов позволяет из созданной информационной базы объективно выделять ближайшие к проектируемому объекту аналоги и в дальнейшем использовать их экономические показатели.

Объективная оценка работы предприятия требует разделения факторов на зависящие и независящие от него. Кроме того, факторы следует систематизировать и группировать по однородным признакам. Такая группировка способствует принятию правильных мер по усилению выявления положительных факторов и ограничению или исключению влияния отрицательных. Для большинства предприятий дать качественную (и тем более количественную) оценку с очевидной определённостью не представляется возможным.

Решение задачи начато со сбора информации и последующего упорядочения и объединения предприятий в однородные группы, чтобы представить первичные сведения в сжатом виде с незначительной потерей информации. Чтобы упростить сравнение по всей имеющейся информации, рекомендуются методы кластерного анализа. Они предполагают, прежде всего, объединить сравниваемые предприятия в относительно однородные группы через отображение объектов в h – мерном пространстве. Здесь h – количество характеристик предприятий, их в нашем случае 22, характеризующих условия эксплуатации, технические возможности и экономические результаты [7].

Важно отметить, что принадлежность некоторых показателей к той или иной группе не является бесспорной. Возможны и другие сочетания. Основные же исследования были направлены, прежде всего, на то, чтобы показать целесообразность экономико-математического аппарата, предлагаемого для комплексной оценки.

Показатели, характеризующие условия эксплуатации: расстояние до ближайшей железнодо-

рожной станции, категория дороги от месторождения до железнодорожной станции, объём полезного ископаемого, объём вскрыши, средняя мощность торфов, длина россыпи, ширина россыпи, коэффициент вскрыши, средняя мощность пласта песков, запасы золота, содержание, поражение многолетней мерзлотой. Важнейшим из факторов, характеризующих условия, является цена на полезное ископаемое. Поэтому рекомендуется исключить её из исследований, т. к. влияние цены на экономические результаты будет подавляющим.

Показатели, характеризующие потенциальные возможности предприятия: производительность участка по добыче и промывке песков в сезон и вскрыше торфов, удельные капитальные вложения, оборотные средства, коэффициенты износа, использования, резерва.

Показатели, характеризующие результаты: себестоимость одного грамма золота, чистый дисконтированный доход, годовая прибыль. Направленность в комплексной оценке во многом определяется выбранным базисом сопоставления. Наиболее часто показатели предприятий сравнивают со среднеотраслевым или внутриотраслевым уровнем.

Комплексная оценка выполнялась в следующей последовательности:

- выбор предприятий и объектов сравнений;
- определение степени сопоставимости объектов и круга сравниваемых показателей;
- сбор и обработка информации об объектах, приведение показателей в сопоставимый вид;
- сравнение и анализ показателей, оценка достигнутых результатов, выявление причин расхождений по ним и факторов, определивших величину показателей;
- обобщение результатов оценки, выводы и предложения по повышению эффективности производства.

Назначение исследований представляет собой, прежде всего, следующее:

- 1) сопоставление достигнутых результатов хозяйственной деятельности с результатами работы других предприятий или объединений;
- 2) изучение причин различий технико-экономических показателей работы предприятий;
- 3) выявление резервов дальнейшего повышения эффективности производства.

Производилось кодирование исходных данных. Использование всех групп факторов для математической обработки в натуральных единицах измерения невозможно из-за различия единиц измерения, значительного размаха вариации. Например, удалённость от пристанционной базы измеряется в км, запасы полезного ископаемого в тыс. т., производственная мощность предприятия в тыс.м³/год, т. е. показатели являются несопоставимыми.

Это обуславливает необходимость приведения всех параметров в сопоставимый вид, для этого целесообразно использовать систему индексирования исходных данных. Здесь необходимо соблюдать следующие принципы:

1. Индексы должны соответствовать интервалам статистической группировки, проведённой для показателей в натуральных единицах измерения. Только в этом случае индексы будут отражать истинные характеристики предприятия, а также использоваться для последующего расчёта функциональных зависимостей;

2. Необходимость соблюдения направленности индексов предполагает проводить кодирование таким образом, чтобы оно отражало качественную характеристику исследуемого параметра.

Принцип, положенный в его основу, предполагает присвоение кода 1 предприятиям, находящимся в более лучших условиях, с ухудшением условий присваивается код 2, 3, 4, 5 и т. д.

Например, величина запасов золота изменяется от 0 до 1400 тыс. м³, предварительно производится группировка предприятий с разбиением диапазона на группы (рис. 1) с использованием формулы Стерждесса [6].

$$n = 1 + 3,322 \lg N$$

где n – число групп; N – число единиц совокупности.

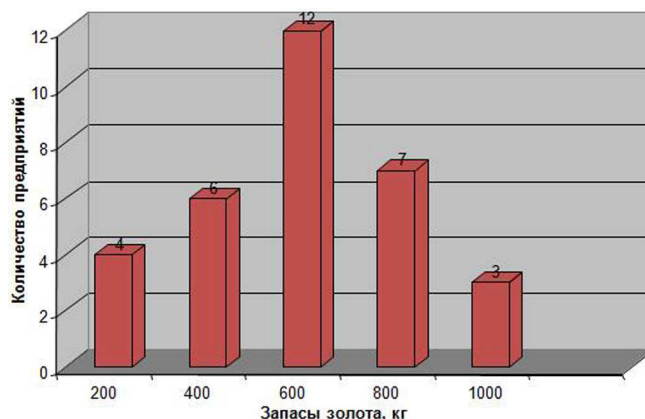


Рис. 1. Гистограмма распределения предприятий по запасам золота

Данные расчётов сведены в таблицу.

Таблица 1

Кодирование показателя «Зачасы золота»

Наименование, показатели	Зачасы золота, тыс. м ³ МГц		Присваиваемый индекс (код)
	«от»	«до»	
Зачасы золото (Z _{Au})	До 300		5
	300	600	4
	600	900	3
	900	1200	2
	1200 и более		1

Классификация предприятий осуществлялась с использованием евклидовой метрики [1], выраженной формулой 1 (инвариантной к вращению осей координат, но не инвариантной к масштабированию координат).

$$d(x_1, x_j) = \left[\sum_{k=1}^h (X_{ki} - X_{kj})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \tag{1}$$

где k_i и k_j – количественные значения k -го признака, соответственно, для i -го и j -го предприятий; h – количество признаков.

Необходимо отметить, что Евклидово расстояние сохраняет содержательный смысл только в случае, когда все параметры колеблются в относительно равных диапазонах. Чтобы использовать выбранную метрику, следует провести нормирование количественных значений всех признаков по формулам 2 и 3.

$$X_{HK} = \frac{X_K - X_{OK}}{S_K} \tag{2}$$

$$S_K = \left[\sum_{i=1}^m \frac{(X_{ki} - X_{ok})^2}{m - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

где X_{HK} – нормированное значение; X_K – значение k -го признака; X_{OK} – внутриотраслевое значение; S_K – среднее квадратическое отклонение k -го признака; m – количество сравниваемых месторождений. После кодирования и последующего нормирования все признаки получают безразмерные значения, колеблющиеся примерно в одинаковых границах.

После проведения многомерных группировок, проводится линейное упорядочивание точек на биссектрису многомерного угла. Таким образом, получаем обобщающую характеристику по условиям эксплуатации (Ry_i) каждого отдельного предприятия, его техническим возможностям (Rv_i) и экономическим результатам (Rp_i).

Классификация предприятий выполнялась на основе парагруппового критерия группирования. Результаты группирования изображались в виде иерархической дендрограммы [2] расстояний между объектами (рис. 2).

Для проведения ранжирования определяются средние для каждого класса значения рассматриваемых характеристик. Эти значения представляют собой координаты центров тяжести классов, рис. 3. Каждый центр проецируется на ось ранжирования. Значение координаты проекции центра служит основанием для ранжирования предприятий.

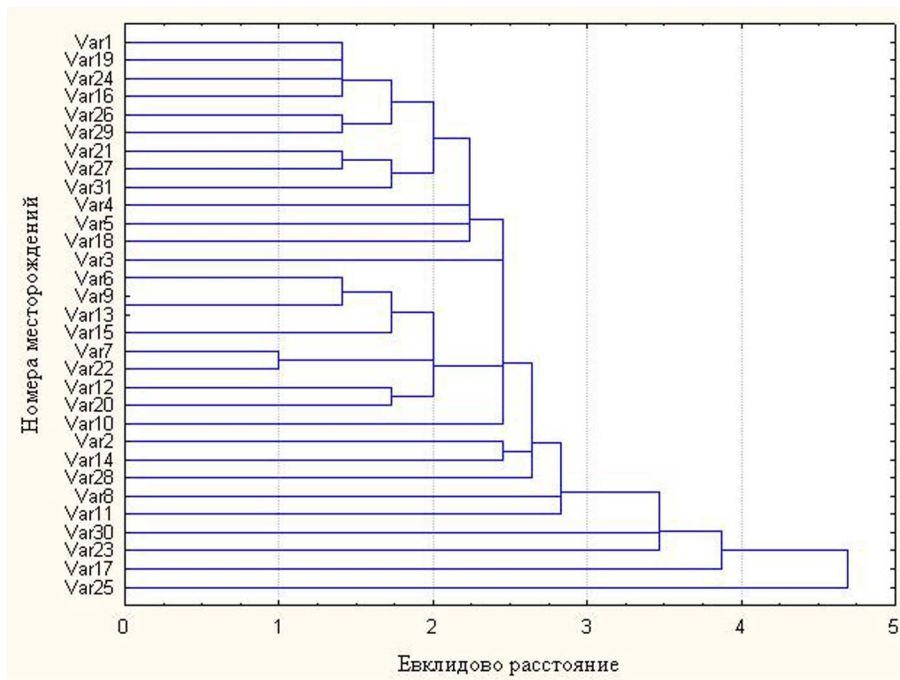


Рис. 2. Иерархическая дендрограмма объектов-аналогов

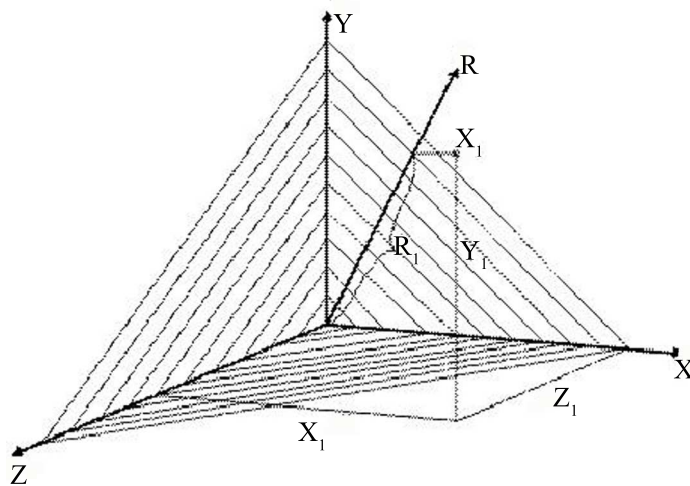


Рис. 3. Графическое отображение процедуры получения обобщающей координаты (где x_i, y_i, z_i – координаты точек)

Предложенные критерии являются основой для комплексной оценки месторождений, а также для получения приёмами линейной регрессии простой регламентирующей функции $F = f(Ry_i; Rv_i)$, которая выражает усреднённое соотношение между условиями эксплуатации месторождений, возможностями предприятий и конечными технико-экономическими показателями.

Расчётное отклонение $\Delta_i = F - Rp_i$ между фактическим значением и теоретической оценкой результатов поможет показать степень эффективности работы действующего предприятия в зависимости от горно-геологических и технико-экономических особенностей, а также установить степень их влияния на результаты работы и принять решения по их воздействию на конечные результаты деятельности предприятия через факторные признаки. Расчётное отклонение позволяет оценить степень инвестиционной привлекательности месторождения и определить целесообразность кредитования.

Список литературы

1. Гусаров В. М. Статистика: учеб. пособие для вузов. М.: Юнити-Дана, 2003. 463 с.
2. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников: учебник. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
3. Федеральный закон от 29 мая 2002 года № 57-ФЗ «О внесении изменений и дополнений в часть вторую налогового кодекса РФ и отдельные законодательные акты РФ».
4. Максимов В. М. Комплексная географо-экономическая оценка месторождений россыпного золота: материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. «Проблемы развития экономики и предпринимательства». Иркутск, 2008. С. 152–154.
5. Панина Т. Ю. Использование многомерного анализа в поиске предприятий-аналогов: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Кулагинские чтения». Чита: ЗабГУ, 2013. Ч. II. С. 91–94.
6. Симчера В. М. Методы многомерного анализа статистических данных: учебник. М.: Финансы и статистика, 2008. 400 с.
7. Панина Т. Ю. Формирование информационной базы для комплексной технико-экономической оценки месторождений // Вестник Забайкал. горного колледжа. 2008. № 1. С. 82–86.
8. Панина Т. Ю. Формализованный поиск аналогов при проектировании горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 4. С. 408–414.

References

1. Gusarov V. M. Statistika: ucheb. posobie dlya vuzov. M.: Yuniti-Dana, 2003. 463 s.
2. Kobzar' A. I. Prikladnaya matematicheskaya statistika dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov: uchebnik. M.: FIZMATLIT, 2006. 816 s.
3. Federal'nyi zakon ot 29 maya 2002 goda № 57-FZ „O vnesenii izmenenii i dopolnenii v chast' vtoruyu nalogovogo kodeksa RF i otdel'nye zakonodatel'nye akty RF“.
4. Maksimov V. M. Kompleksnaya geografo-ekonomicheskaya otsenka mestorozhdenii rossypnogo zolota: materialy VI Vseros. nauch.-prakt.konf. „Problemy razvitiya ekonomiki i predprinimatel'stva“. Irkutsk, 2008. S. 152–154.
5. Panina T. Yu. Ispol'zovanie mnogomernogo analiza v poiske predpriyatii-analogov: materialy KhIII Mezhdunar. nauch.-prakt.konf. «Kulaginskie chteniya». Chita: ZabGU, 2013. Ch. II. S. 91–94.
6. Simchera V. M. Metody mnogomernogo analiza statisticheskikh dannykh: uchebnik. M.: Finansy i statistika, 2008. 400 s.
7. Panina T. Yu. Formirovanie informatsionnoi bazy dlya kompleksnoi tekhniko-ekonomicheskoi otsenki mestorozhdenii // Vestnik Zabaikal. gornogo kolledzha. 2008. № 1. S. 82–86.
8. Panina T. Yu. Formalizovannyi poisk analogov pri proektirovanii gornyykh predpriyatii // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2014. № 4. S. 408–414.

Статья поступила в редакцию 19.05.2014

УДК 537.5+534.143
ББК 22.37.0

Николай Петрович Степанов,
доктор физико-математических наук, профессор,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул.Александро-Заводская, 30)
e-mail: np-stepanov@mail.ru

Екатерина Николаевна Трубицына,
магистр физического образования,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул.Александро-Заводская, 30)
e-mail: TrubitsinaEkaterina@gmail.com

**Температурные зависимости спектров плазменного отражения кристалла
 $Bi_{0,6}Sb_{1,4}Te_3$ в диапазоне температур 78 К – 292 К**

В ходе исследований оптических свойств кристаллов твёрдых растворов Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 изучались закономерности изменения состояния электронной системы при варьировании температуры и соотношения компонент Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 . Было установлено, что при содержании 75 % Sb_2Te_3 в составе твёрдого раствора происходит сближение энергии плазменных колебаний свободных носителей заряда и энергии межзонных переходов, формирующих край фундаментального поглощения. Уменьшение температуры кристалла $Bi_{0,6}Sb_{1,4}Te_3$ от 300 до 78 К позволило наблюдать плавное смещение плазменного края в направлении края фундаментального поглощения и деформацию спектров отражения, обусловленную усиливающимся электрон-плазмонным взаимодействием.

Ключевые слова: полупроводники, термоэлектрические материалы, плазменный резонанс, край фундаментального поглощения, спектр отражения.

Nikolai Petrovich Stepanov,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: np-stepanov@mail.ru

Ekaterina Nikolaevna Trubitsina,
Master of Physical Education,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: TrubitsinaEkaterina@gmail.com

**Temperature Dependence of the Reflection Spectra of the Plasma Crystal
 $Bi_{0,6}Sb_{1,4}Te_3$ in the Temperature Range of 78 K – 292 K**

During the studies of the optical properties of solid solutions of Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 the changes in the state of the electronic system by varying the temperature and the ratio of components of Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 were considered. It was found that when the content of 75 per cent in the Sb_2Te_3 solid solution of a convergence of energy of plasma oscillations of free charge carriers and energy inter-band transitions forming the fundamental absorption edge. Reducing the temperature of the crystal $Bi_{0,6}Sb_{1,4}Te_3$ from 300 to 78 K, it is possible to observe a smooth shift of the plasma edge to the edge of the fundamental absorption and reflection spectra of the strain caused by amplifying the electron-plasmon interaction.

Keywords: semiconductors, thermoelectric materials, plasma resonance, the fundamental absorption edge, the reflection range.

Исследования кристаллов висмута, легированного оловом, показали, что благодаря смещению уровня химического потенциала в энергетический зазор между экстремумами лёгких электронов и дырок, удаётся наблюдать сближение энергии плазменных колебаний и межзонных переходов, что и является причиной появления особенностей в поведении спектров отражения в области плазменных

эффектов, обусловленных свободными носителями заряда [2]. Однако вследствие малости энергетического зазора между экстремумами лёгких дырок в висмуте экспериментальное исследование электрон-плазмонного взаимодействия приходится выполнять при низких температурах, в дальней инфракрасной области, что требует использования дорогостоящего оборудования. В то же время существуют материалы, в которых энергия плазменных колебаний и ширина запрещённой зоны могут быть сопоставимы по величине. Изменяя химический состав таких полупроводников при помощи внесения легирующей примеси, можно добиться изменения соотношения энергий плазменных колебаний и межзонных переходов, а, соответственно, и интенсивности электрон-плазмонного взаимодействия [12]. Более тонкую подстройку резонансных частот можно инициировать изменением температуры или магнитного поля [6].

В связи с этим нами были выполнены исследования оптических функций кристаллов твёрдых растворов $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$, широко используемых в термоэлектрическом материаловедении, в которых также возможно сближение энергий элементарных возбуждений в плазмонном и электронном спектрах. Действительно, обзор исследования оптических свойств теллуридов висмута и сурьмы показывает, что ширина запрещённой зоны в этих материалах варьируется в пределах от 125 до 250 мэВ, в то время как энергия плазменных колебаний свободных носителей заряда плавно увеличивается от 50 до 150 мэВ [6; 12]. Изучение спектров плазменного отражения кристаллов Bi_2Te_3 , их анизотропии и изменения в зависимости от температуры было выполнено в работах [7; 8]. Динамика изменения положения плазменного края в кристаллах $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$ в зависимости от содержания Sb_2Te_3 в составе твёрдого раствора при $T=300$ К исследовалась в работе [5]. Исследование спектров пропускания, выполненное в работах [7; 9], позволяет утверждать, что в этих материалах существует отчётливо выраженный край фундаментального поглощения, формирующийся прямыми и не прямыми межзональными переходами. Особый интерес вызывает резкое увеличение ширины оптической запрещённой зоны в кристаллах, содержащих более 80 % Sb_2Te_3 , описанное в работе [8], которое не получило удовлетворительного объяснения. В то же время необходимо отметить, что в работах [5; 10] в высокочастотной по отношению к плазменному краю области спектров отражения излучения от кристалла $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$, содержащего 75 % Sb_2Te_3 , исследователи наблюдали особенности в поведении оптических функций, которые были истолкованы как проявление межзонных переходов. Рассматриваемые особенности интересны еще и тем, что именно 75-процентные твёрдые растворы оказываются наиболее эффективными термоэлектрическими преобразователями. Коэффициент ZT в них достигает значений близкий 1, что приводит к их широкому использованию для изготовления p ветвей термоэлектрических элементов. В связи с этим понимание происходящих в данных кристаллах процессов представляет как теоретический, так и практический интерес.

В ходе исследования спектров отражения в диапазоне проявления эффектов, обусловленных колебаниями плазмы свободных носителей заряда, было обнаружено, что в кристаллах $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$, содержащих более 50 % Sb_2Te_3 , оказываются сопоставимы по величине резонансные частоты плазменных колебаний свободных носителей заряда и межзонных переходов, определяющих спектральное положение края фундаментального поглощения. Известно, что вблизи плазменной частоты действительная часть функции диэлектрической проницаемости оказывается близка к нулю, что и обеспечивает возможность наблюдения особенностей в поведении оптических функций, обусловленных межзональными переходами, обычно слабо проявляющимися на фоне поляризации, связанной со свободными носителями заряда, на частотах больших плазменной. Электромагнитное излучение с частотой меньше плазменной не проникает в кристалл, поскольку экранируется коллективными колебаниями свободных носителей заряда. С высокочастотной стороны от плазменного края, где действительная часть функции диэлектрической проницаемости ϵ_1 положительна и мала по абсолютной величине, даже слабое поляризационное влияние межзонного перехода смещает частоту точки пересечения ϵ_1 нулевой отметки в высокочастотную область. Таким образом, реализуется взаимное влияние плазменных колебаний носителей заряда и межзонных переходов. Отметим, что в случае близкого расположения частот коллективных и одночастичных возбуждений электронной системы, изучение спектров отражения позволяет более наглядно наблюдать картину влияния межзонного перехода на положение и форму плазменного края, формирующегося резонансным и поэтому высокочувствительным возбуждением свободных носителей заряда.

Результаты исследований оптических свойств кристаллов $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$ отражены в работах [6; 12; 2]. Основной вывод, который можно сделать из результатов оптических исследований, заключается в том, что при $T=300$ К увеличение процентного содержания Sb_2Te_3 в составе твёр-

ного раствора приводит к увеличению плазменных частот. В кристаллах, содержащих более 50 % Sb_2Te_3 , в спектрах отражения наблюдаются особенности, характерные для межзонных переходов, частоты которых уменьшаются при увеличении содержания теллурида сурьмы, и максимально сближаются с плазменной частотой в кристалле, содержащем 75 % Sb_2Te_3 . При более высоком содержании теллурида сурьмы плазменная частота резко увеличивается, происходит экранировка межзонного перехода и спектры отражения практически идеально описываются в рамках классического описания взаимодействия электромагнитного излучения и плазмы свободных носителей заряда. Как уже было отмечено выше, в работе [9] приводится описание наблюдавшегося резкого увеличения оптической ширины запрещённой зоны в кристаллах $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$, содержащих около 80 % Sb_2Te_3 , природа которого не была интерпретирована. Результаты исследований спектров плазменного отражения, представленные в работах [6; 12; 2], позволяют утверждать, что причиной резкого увеличения ширины оптической запрещённой зоны в кристаллах, содержащих более 80 % Sb_2Te_3 является экранирование края фундаментального поглощения плазменными колебаниями свободных носителей заряда, обусловленное тем, что уменьшающаяся энергия межзонного перехода становится меньше увеличивающейся энергии плазмона. Это подтверждается также и тем, что внесение в теллурид сурьмы донорной примеси селена, позволяющее уменьшить концентрацию лёгких дырок, а, соответственно, и плазменную частоту, приводит к тому, что особенности в спектрах отражения, характерные для межзонных переходов, проявляются вновь. Из вышесказанного следует, что теллурид сурьмы является материалом, физические свойства которого во многом обусловлены плазменной экранировкой края фундаментального поглощения. В связи с этим свойства Sb_2Te_3 во многом похожи на свойства полуметаллов.

Уменьшение температуры кристаллов $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$ сопровождается увеличением плазменных частот, что коррелирует с температурными зависимостями коэффициента Холла, электропроводности, термоэдс и указывает на сложное строение валентной зоны, являющееся причиной перераспределения носителей заряда между неэквивалентными экстремумами валентной зоны при изменении температуры [9]. Это обстоятельство приводит к тому, что при $T=78$ К максимальное сближение плазменной частоты и частоты межзонного перехода происходит в кристалле, содержащем не 75, а 70 % теллурида сурьмы. Поскольку при $T=78$ К тепловое размытие резонансных возбуждений электронной системы значительно меньше, чем при $T=292$ К, то удается наблюдать деформацию формы плазменного края, обусловленную электрон-плазмонным взаимодействием. Так, на рис. 1 приведены спектры плазменного отражения кристалла $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$, содержащего 70 % Sb_2Te_3 , полученные при различных температурах, из которых видно, как изменяется форма и положение плазменного края в данном кристалле.

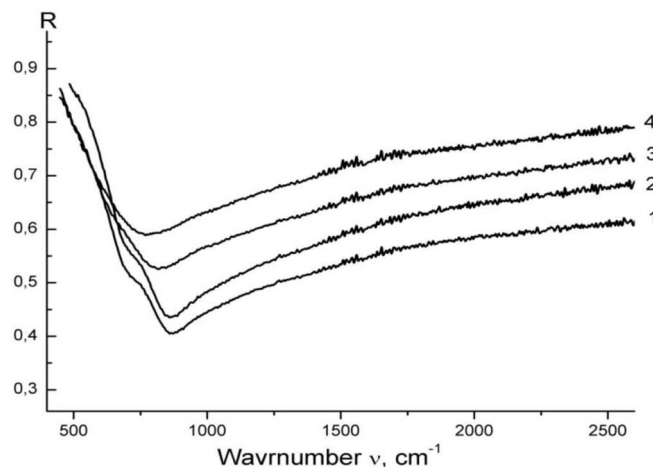


Рис. Спектры коэффициента отражения R монокристалла $Bi_{0,6}Sb_{1,4}Te_3$, полученные в неполяризованном излучении при $E \perp C_3$. 1 – 78 К, 2 – 132 К, 3 – 220 К, 4 – 292 К

Особенности поведения оптических функций, наблюдающиеся в кристаллах, содержащих более 50 % Sb_2Te_3 , указывают на существенные изменения, происходящие в их электронной системе.

В заключение отметим, что в ходе исследования оптических и магнитных свойств кристаллов твёрдых растворов $Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3$ обнаружены закономерности, изучение которых представляет интерес не только в плане уточнения физических свойств самого материала, но и в плане изучения особенностей взаимодействия полупроводникового кристалла с электромагнитным полем.

Список литературы

1. Гольцман Б. М., Кудинов В. А., Смирнов И. А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 . М.: Наука, 1972. 321 с.
2. Степанов Н. П., Грабов В. М. Оптические эффекты, обусловленные совпадением энергии плазменных колебаний и межзонного перехода в легированных акцепторной примесью кристаллах висмута // Оптика и спектроскопия. 2002. Т. 92. №5. С. 794–798.
3. Степанов Н. П. [и др.]. Анизотропия плазменного отражения твердых растворов $(Bi_{2-x}Sb_x)Te_3$ ($0 < x < 1$) в диапазоне температур от 78 до 293 К // Оптика и спектроскопия. 2011. Т. 111. №6. С. 967–973.
4. Степанов Н. П., Калашников А. А., Улашкевич Ю. В. Оптические функции кристаллов твёрдых растворов $Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3$ в области возбуждения плазмонов и межзонных переходов // Оптика и спектроскопия. metricconverterProductID2010 г. 2010. Т. 109. №6. С. 1138–1143.
5. Austin J. G. Proc. Phys. Soc. 72. 549(1958).
6. Dornhaus R., Nimtz G. The Effect of Single-phonon and plasmon recombination on the Lifetime in $n - Hg_{1-x}Cd_x$ Te with magnetically tuned bandgap // Solid - State Electronics. 1978. V. 21. P. 1471–1474.
7. Groth R., Schnabel P., Phys J. Chem. Sol. 25. 1261 (1964).
8. Sehr R., Testardi L. R., Appl J. Phys. 34. 2754 (1963).
9. Sehr R., Testardi L. R., J.Phys. Chem. Sol.23. 1219(1962).
10. Stordeur M. Investigation of valence band structure of thermoelectric $Bi_2Te_3Sb_2Te_3$ single crystals / M. Stordeur, M. Stolzer, H. Sobotta, V. Riede // Phys. stat. sol. (b) 150. 1988. P. 165–176.
11. Stordeur M. Investigation of valence band structure of thermoelectric $Bi_2Te_3Sb_2Te_3$ single crystals / M. Stordeur, M. Stolzer, H. Sobotta, V. Riede // Phys. stat. Sol. (b) 150. 1988. P. 260.
12. Wolff P. A. Plasma-wave instability in narrow-gap semiconductors // Physical review letters. 1970. V. 24. №6. P. 266–269.

References

1. Gol'tsman B. M., Kudinov V. A., Smirnov I. A. Poluprovodnikovye termoelektricheskie materialy na osnove Bi_2Te_3 . M.: Nauka, 1972. 321 s.
2. Stepanov N. P., Grabov V. M. Opticheskie efekty, obuslovlennyye sovpadeniem energii plazmennyykh kolebaniy i mezhzonnygo perekhoda v legirovannykh aktseptornoj primes'yu kristallakh vismuta // Optika i spektroskopiya. 2002. T. 92. №5. s. 794–798.
3. Stepanov N. P. [i dr.]. Anizotropiya plazmennogo otrazheniya tverdykh rastvorov $(Bi_{2-x}Sb_x)Te_3$ ($0 < x < 1$) v diapozone temperatur ot 78 do 293 K // Optika i spektroskopiya. 2011. T. 111. №6. S. 967–973.
4. Stepanov N. P., Kalashnikov A. A., Ulashkevich Yu. V. Opticheskie funktsii kristallov tvyordykh rastvorov $Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3$ v oblasti vozbuzhdeniya plazmonov mezhzonnykh perekhodov // Optika i spektroskopiya. metricconverterProductID2010 a. 2010. T. 109. №6. S. 1138–1143.
5. Austin J. G. Proc. Phys. Soc. 72. 549(1958).

6. Dornhaus R., Nimtz G. The Effect of Single-phonon and plasmon recombination on the Lifetime in $n - Hg_{1-x}Cd_x$ Te with magnetically tuned bandgap // Solid - State Electronics. 1978. V. 21. P. 1471–1474.
7. Groth R., Schnabel P., Phys J. Chem. Sol. 25. 1261 (1964).
8. Sehr R., Testardi L. R., Appl J. Phys. 34. 2754 (1963).
9. Sehr R., Testardi L. R., J.Phys. Chem. Sol.23. 1219(1962).
10. Stordeur M. Investigation of valence band structure of thermoelectric $Bi_2Te_3Sb_2Te_3$ single crystals / M. Stordeur, M. Stolzer, H. Sobotta, V. Riede // Phys. stat. sol. (b) 150. 1988. P. 165–176
11. Stordeur M. Investigation of valence band structure of thermoelectric $Bi_2Te_3Sb_2Te_3$ single crystals / M. Stordeur, M. Stolzer, H. Sobotta, V. Riede // Phys. stat. Sol. (b) 150. 1988. P. 260.
12. Wolff P. A. Plasma-wave instability in narrow-gap semiconductors // Physical review letters. 1970. V. 24. №6. P. 266–269.

Статья поступила в редакцию 15.04.2014

УДК 622.276.013
ББК 33.36

Владимир Александрович Толпаев,
доктор физико-математических наук, профессор,
зав. лабораторией подземной гидродинамики,
ОАО «Северо-Кавказский научно-исследовательский
проектный институт природных газов»
(355035, Россия, г. Ставрополь, ул. Ленина, 419)
e-mail: v.a.tolpaev@mail.ru

Светлана Анатольевна Гоголева,
научный сотрудник
лаборатории подземной гидродинамики,
ОАО «Северо-Кавказский научно-исследовательский
проектный институт природных газов»
(355035, Россия, г. Ставрополь, ул. Ленина, 419)
e-mail: gogoleva.s.a@yandex.ru

Математические модели для обработки данных газогидродинамических исследований скважин

На примере обработки реальных данных газогидродинамических исследований анализируются преимущества и недостатки двучленного и степенного уравнений притока газа и даются рекомендации по их применению.

Ключевые слова: уравнение притока газа, газогидродинамические исследования скважин, дебит, технологический режим работы скважины.

Vladimir Aleksandrovich Tolpaev,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
North-Caucasus Scientific-Research and Design Institute of Natural Gases
(419 Lenin St., Stavropol, Russia, 355035)
e-mail: v.a.tolpaev@mail.ru

Svetlana Anatolievna Gogoleva,
Researcher,
North-Caucasus Research-Research and Design Institute of Natural Gases
(419 Lenin St., Stavropol, Russia, 355035)
e-mail: gogoleva.s.a@yandex.ru

Mathematical Models for Data Processing of Gas-Hydrodynamic Researches of Wells

On the example of processing of real data of gas-hydrodynamic researches advantages and shortcomings of the binomial and the sedate equations are analyzed and recommendations about their application are made.

Keywords: equation of inflow of gas, gas-hydrodynamic researches of wells, output, technological operating mode of a well.

Для прогнозирования дебитов газодобывающей скважины при установившемся режиме фильтрации с разными технологическими режимами её эксплуатации на практике применяют классическое уравнение притока газа [1]:

$$P_{н.л}^2 = P_3^2 + AQ + BQ^2. \quad (1)$$

В уравнении (1) P_{nl} и P_3 – соответственно пластовое и забойное давления, A и B – размерные, по физическому смыслу положительные, коэффициенты фильтрационных сопротивлений, зависящие от фильтрационных свойств призабойной зоны пласта, конструкции и технического состояния забоя скважины и состояния фильтра скважины. С помощью уравнения (1) удобно рассчитывать технологические режимы эксплуатации скважин, работающих с постоянным дебитом.

Для расчёта технологических режимов эксплуатации скважин с постоянным забойным или с постоянным устьевым давлением более удобной представляется форма уравнения притока, явно разрешённого относительно дебита скважины, т. е. форма вида $Q = F(\Delta P^2)$, где $\Delta P^2 = P_{nl}^2 - P_3^2$.

Вторую форму зависимости можно, конечно, получить, разрешив уравнение (1) относительно дебита

$$Q = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 4B\Delta P^2}}{2B}. \quad (2)$$

Но такой подход неудобен. Главным образом по следующим двум причинам. Первая – в силу нарушения технологий проведения газогидродинамических исследований (ГГДИ) коэффициент B в уравнении (1) по результатам обработки данных ГГДИ нередко получается отрицательным, что не позволяет в подобных ситуациях применять (2) в расчётах прогнозных дебитов. Вторая – коэффициенты фильтрационных сопротивлений A и B рассчитываются по данным ГГДИ для зафиксированного пластового давления и узкого диапазона депрессий, что тоже затрудняет использование (2) в расчётах прогнозных дебитов при изменившемся пластовом давлении.

Более удобной для расчёта прогнозных дебитов, а также технологических режимов эксплуатации скважин с постоянным забойным или с постоянным устьевым давлением является представление явной зависимости дебита от разности квадратов давлений в степенном виде [2]:

$$Q = C (P_{nl}^2 - P_3^2)^\alpha, \quad (3)$$

где C – размерный коэффициент притока, а α – безразмерный показатель степени. Однако существенным недостатком этого уравнения является неопределённая размерность коэффициента притока C , зависящая от параметра α , и, как следствие, неопределённость физического смысла коэффициента C . Для устранения этого недостатка в уравнении (3) вынесем за знак скобки множитель $P_{nl}^{2\alpha}$, в результате чего получим равноценное уравнение:

$$Q = D \left(1 - \frac{P_3^2}{P_{nl}^2}\right)^\alpha. \quad (4)$$

В последнем уравнении множитель $D = CP_{nl}^{2\alpha}$ уже имеет определённую размерность – размерность дебита скважины, например *тыс. м³/сут.*

Для определения фильтрационных сопротивлений A и B , коэффициентов притока C , D и показателя степени α по данным ГГДИ необходимо линеаризовать уравнения (1), (3) и (4). После очевидных преобразований получаем следующие линеаризованные формы уравнений притока газа к скважине. Линеаризованное уравнение (1) примет вид:

$$\frac{P_{nl}^2 - P_3^2}{Q} = A + BQ, \quad (5)$$

уравнение (3) вид:

$$\ln Q = \ln C + \alpha \ln(P_{nl}^2 - P_3^2), \quad (6)$$

а уравнение (4) вид:

$$\ln Q = \ln D + \alpha \ln \left(1 - \frac{P_s^2}{P_{nl}^2} \right). \quad (7)$$

Далее для расчёта коэффициентов A, B, C, D и показателя степени α по данным ГГДИ в среде MS Excel находим уравнения прямых линий регрессии. Линейную регрессию для (5) строим в координатах $(Q; \Delta P^2/Q)$. Линейную регрессию для (6) – в координатах $(\ln \Delta P^2; \ln Q)$ и для (7) в координатах $(\ln(1 - P_s^2/P_{nl}^2); \ln Q)$.

Сравним результаты применения формул (1), (3) и (4) на примере нескольких скважин Ямбургского НГКМ.

На скважине №1143 21.10.08 были проведены ГГДИ, результаты которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты газодинамических испытаний скважины № 1143

Номер режима	Рпл, ата	Рзаб, ата	Qизм, тыс.м ³ /сут
1	39,19	33,3	1 59
2	39,19	31,66	195,6
3	39,19	30,36	219,5
4	39,19	28,71	254,3
5	39,19	27,18	282,9

Вычисление значений фильтрационных сопротивлений A и B , коэффициентов притока C, D и показателя степени α по формулам (4) и (5) дало следующие результаты, приведённые в табл. 2

Таблица 2

Результаты вычислений значений коэффициентов уравнений (1) и (3) для скважины № 1143

Классическое уравнение притока вида (1)		Степенное уравнение притока вида (3)		Степенное уравнение притока вида (4)	
$A, ата^2/(тыс.м^3/сут)$	$B, ата^2/(тыс.м^3/сут)^2$	C	α	$D, тыс. м^3/сут$	α
2,5346	0,0011	0,6042	0,9198	515,3491	0,9198

Результаты сравнения замеренных дебитов, вычисленных с использованием классического уравнения притока и с помощью степенных законов, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты сравнения замеренных дебитов и вычисленных с использованием уравнений (1), (3) и (4) для скважины № 1143

Номер режима	Классическое уравнение притока вида (1)		Степенные уравнения притока вида (3) и (4)	
	$Q_1, тыс. м^3/сут$	отклонение $\frac{Q_{изм}-Q_1}{Q_{изм}}$	$Q_{3,4}, тыс.м^3/сут$	отклонение $\frac{Q_{изм}-Q_{3,4}}{Q_{изм}}$
1	158,4	0,40 %	158,7	0,16 %
2	195,0	0,30 %	194,8	0,38 %
3	222,1	-1,18 %	221,8	-1,04 %
4	254,2	0,06 %	254,0	0,13 %
5	281,7	0,43 %	281,90	0,35 %

Примечание. Здесь и далее выделяются результаты с меньшей относительной ошибкой. Пользуясь «спортивной» терминологией, можно сказать, что «счёт 3:2» в пользу уравнений притока в виде (3) и (4).

Рассмотрим ещё один пример. На скважине №1074 02.06.05 были проведены ГГДИ, результаты которых представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты газодинамических испытаний скважины №1074

Номер режима	$P_{nl}, ата$	$P_{заб}, ата$	$Q_{изм}, тыс. м^3/сут$
1	28,49	25,86	432
2	28,49	25,57	463
3	28,49	25,25	474

Вычисление значений фильтрационных сопротивлений A и B , коэффициентов притока C , D и показателя степени α по формулам (4) и (5) дало следующие результаты, приведённые в табл. 5.

Таблица 5

Результаты вычислений значений коэффициентов уравнений (1), (3) и (4) для скважины № 1074

Классическое уравнение притока вида (1)		Степенное уравнение притока вида (3)		Степенное уравнение притока вида (4)	
$A,$ $ата^2/(тыс.м^3/сут)$	$B,$ $ата^2/(тыс.м^3/сут)^2$	C	α	$D,$ $тыс. м^3/сут$	α
0,0043	0,0008	42,0994	0,4707	985,7505	0,4707

Результаты сравнения замеренных дебитов, вычисленных с использованием классического уравнения притока и с помощью степенных законов, представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты сравнения замеренных дебитов и вычисленных с использованием уравнений (1) и (3) для скважины № 1074

Номер режима	Классическое уравнение притока вида (1)		Степенные уравнения притока вида (3) и (4)	
	$Q_1,$ $тыс. м^3/сут$	отклонение $\frac{Q_{изм}-Q_1}{Q_{изм}}$	$Q_{3,4},$ $тыс.м^3/сут$	отклонение $\frac{Q_{изм}-Q_{3,4}}{Q_{изм}}$
1	433,8	-0,42 %	435,3	-0,75 %
2	456,0	1,51 %	456,1	1,50 %
3	479,1	-1,07 %	477,6	-0,76 %

Примечание. Здесь «счёт 2:1» в пользу уравнений притока в виде (3) и (4).

Как видно из рассмотренных примеров, как в случае проведения испытаний на 5 режимах, так и в случае всего трёх режимов, результаты расчёта дебитов по уравнениям притока вида (1) и (3) практически совпадают, а уравнения (4) и (3) приводят к одинаковым по точности расчётам дебитов.

В целом использование уравнений притока газа к скважине вида (1) и (3) можно признать равноценным. Выбор уравнений (1) или (3) определяется только тем, какие технологические режимы эксплуатации скважины будут рассчитываться. Классическое двучленное уравнение притока позволяет легко рассчитывать технологические режимы эксплуатации скважин с заданным дебитом, а степенное уравнение – технологические режимы с постоянным забойным или устьевым давлением. Кроме того, применение степенного закона более удобно при вычислении прогнозных значений дебита, когда решается вопрос о выборе скважин для проведения на них геолого-технических мероприятий. Также следует отметить, что при применении степенного закона притока газа к скважине его рекомендуется использовать в виде уравнения (4), а не в виде (3), приведённом в [2]. Это позволяет получить тот же результат, но при этом избежать неопределённости в размерности коэффициента притока.

Примечание. Значение среднего квадратического отклонения для расчётов по уравнению (1) равно

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{изм\ i} - Q_{1i})^2} = 3,78,$$

а для расчётов по уравнениям (3) и (4) равно

$$\sigma_{3,4} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{изм\ i} - Q_{3,4i})^2} = 3,57,$$

что снова указывает на несколько большую точность расчётов дебитов по уравнениям (3) и (4), нежели по уравнению (1).

Список литературы

1. Басниев К. С., Дмитриев Н. М., Розенберг Г. Д. Нефтегазовая гидромеханика. Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2005.
2. Джеймс Ли, Генри Никенс, Майкл Уэллс. Эксплуатация обводняющихся газовых скважин. Технологические решения по удалению жидкости из скважин. М.: Премиум Инжиниринг, 2008. 384 с.

References

1. Basniev K. S., Dmitriev N. M., Rozenberg G. D. Neftegazovaya gidromekhanika. Izhevsk: In-t komp'yuternykh issledovaniy, 2005.
2. Dzheims Li, Genri Nikens, Maikl Uells. Eksploatatsiya obvodnyayushchikh gazovykh skvazhin. Tekhnologicheskie resheniya po udalenyu zhidkosti ikh skvazhin. M.: Premium Inzhiniring, 2008. 384 s.

Статья поступила в редакцию 03.05.2014

УДК 532.546
ББК 22.253

Святослав Евгеньевич Холодовский,
доктор физико-математических наук, профессор,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30)
e-mail: hol47@yandex.ru

Ирина Анатольевна Ефимова,
кандидат физико-математических наук, доцент,
Забайкальский институт предпринимательства
(672086, Россия, г. Чита, ул. Ленинградская, 16)
e-mail: yefimova79@yandex.ru

Об оптимальном расположении дренажа под бетонной плотиной с эллиптическим флютбетом¹

Рассмотрена задача о фильтрации жидкости под непроницаемой плотиной. Основание плотины имеет форму вытянутого эллипса, на котором расположен сток (дренаж). Мощность стока является заданной. Уровни жидкости слева и справа от плотины различны. Область фильтрации не ограничена снизу. Найдены оптимальные координаты стока, при которых скорость фильтрации в крайней точке выхода воды в нижний бьеф равна нулю.

Ключевые слова: фильтрация жидкости под плотиной, оптимальное расположение точечного дренажа, метод особых точек потенциала, смешанная краевая задача для оператора Лапласа.

Svyatoslav Yevgenyevich Kholodovskii,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: hol47@yandex.ru

Irina Anatolyevna Efimova,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Transbaikal Institute of Entrepreneurship
(16 Leningradskaya St., Chita, Russia, 672086)
e-mail: yefimova79@yandex.ru

Optimal placement of Drainage Under the Concrete Dam with an Elliptical Base²

The problem of fluid filtration under impermeable dam is considered. The base of the dam has the shape of an ellipse, where there is drain. Drain capacity is given. Fluid levels on the left and right of the dam are different. Filtration area is unbounded from below. Optimal drain coordinates at which the rate of filtration at the point of exit of water in the tailrace is zero.

Keywords: liquid filtration under the dam, the optimum location of the point of drainage, the method of singular points of the potential, the mixed boundary value problem for the Laplace operator.

¹Работа выполнена в рамках Государственного задания вузу Министерства образования и науки Российской Федерации (проект 2014/255 НИР 2603.14).

²The work is performed within the State Task for the Higher Institution of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project 2014/255 NIR 2603.14).

При проектировании гидросооружений, в частности, гидроэнергетических плотин на реках одной из основных является проблема снижения скорости фильтрации жидкости под плотинами из верхнего бьефа в нижний. Указанная фильтрация обусловлена разностью уровней воды с разных сторон от плотины. При больших скоростях фильтрации возможно размывание основания плотины, что может привести к разрушению плотины. В литературе отмечается, что большинство катастроф, связанных с разрушением плотин, обусловлены фильтрацией жидкости под плотинами [1; 2]. Для снижения скоростей фильтрации в основании плотин сооружают всевозможные шпунты, завесы, экраны, дренажи, перехватывающие фильтрационные потоки и т. д. [1–4]. Особенно опасны большие скорости в крайней точке флютбета, где фильтрационный поток выходит в нижний бьеф.

Отметим, что под тяжестью тела плотины её основание (флютбет), как правило, несколько углубляется в грунт ниже русла реки. Поэтому эллиптические флютбеты являются более точными моделями плотин по сравнению, например, с плоскими флютбетами.

Рассмотрим в вертикальной плоскости с декартовыми координатами x, y фильтрацию жидкости под непроницаемой (бетонной) плотиной, где ось y направлена вверх, ось x направлена вдоль линии бьефов, флютбет плотины имеет форму вытянутого эллипса L с фокусами в точках $x = \pm 1$:

$$L = \left(x, y : \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, y < 0 \right), \quad (1)$$

областью фильтрации D является внешность эллипса L в нижней полуплоскости:

$$D = \left(x, y : \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} > 1, y < 0 \right), \quad (2)$$

в верхнем бьефе (при $x < -a, y = 0$) потенциал постоянный и равен $-p$, а в нижнем бьефе (при $x > a, y = 0$) потенциал равен нулю, т.е. давление отсчитывается от давления в нижнем бьефе. Здесь

$$a = \frac{1}{2} \left(r_0 + \frac{1}{r_0} \right), \quad b = \frac{1}{2} \left(r_0 - \frac{1}{r_0} \right),$$

$r_0 > 1$ – заданная постоянная, характеризующая форму флютбета плотины.

Пусть на флютбете L (1) в точке $A(x_0, y_0)$ имеет место точечный сток заданной мощности Q , моделирующий дренаж. Задача заключается в нахождении координат расположения стока x_0, y_0 , при которых в правой кромке флютбета $B(a, 0)$ (где фильтрационный поток выходит в нижний бьеф) скорость фильтрации равна нулю. Другими словами в точке B скорость фильтрации за счёт разности давлений в бьефах и скорость за счёт стока в точке $A(x_0, y_0)$ должны компенсировать друг друга.

В данной модели для потенциала $u(x, y)$ задача имеет вид

$$\Delta_{xy} u = 0, \quad (x, y) \in D, \quad (3)$$

$$u|_{y=0} = \begin{cases} 0, & x > a \\ -p, & x < -a \end{cases}, \quad \frac{\partial u}{\partial n}|_L = 0, \quad u_y|_{x=a, y=0} = 0, \quad (4)$$

причём в окрестности точки $A(x_0, y_0) \in L$ выполняется условие

$$u(x, y) \sim -\frac{Q}{4\pi} \ln[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2], \quad (5)$$

где Δ_{xy} – оператор Лапласа в переменных x, y ; $p > 0, Q > 0$ – заданные постоянные, $u_y = \partial u / \partial y, \partial u / \partial n$ – производная по направлению внешней нормали к L . Из граничных условий (4)

следует, что в концевой точке флютбета $B(a, 0)$ вектор скорости фильтрации равен нулю, т. е. точка B является критической точкой течения.

Задача (3)–(5) является краевой задачей математической физики для оператора Лапласа в криволинейной области D со смешанными граничными условиями при наличии стока заданной мощности Q на границе области в точке A . При этом координаты точки A определяются из последнего условия (4).

Наряду с задачей (3)–(5) рассмотрим вспомогательную задачу для функции v на комплексной плоскости $\zeta = \xi + i\eta = re^{i\alpha}$ вида

$$\Delta_{\xi\eta}v = 0, \quad (r, \alpha) \in D_1(r > r_0, -\pi < \alpha < 0), \quad (6)$$

$$v|_{\alpha=0} = 0, \quad v|_{\alpha=-\pi} = -p, \quad v_r|_{r=r_0, -\pi < \alpha < 0} = 0, \quad (7)$$

$$v_{\alpha}|_{r=r_0, \alpha=0} = 0, \quad (8)$$

$$v \sim -\frac{Q}{4\pi} \ln[(\xi - \xi_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2], \quad (9)$$

где $\xi = r \cos \alpha$, $\eta = r \sin \alpha$, $\xi_0 = r_0 \cos \alpha_0$, $\eta_0 = r_0 \sin \alpha_0$,

$$x_0 = \frac{1}{2} \left(r_0 + \frac{1}{r_0} \right) \cos \alpha_0, \quad y_0 = \frac{1}{2} \left(r_0 - \frac{1}{r_0} \right) \sin \alpha_0, \quad (10)$$

(r, α) – полярные координаты плоскости ζ . Функция Жуковского $z = \frac{1}{2}(\zeta + \zeta^{-1})$, где $z = x + iy$,

$$x = \frac{1}{2} \left(r + \frac{1}{r} \right) \cos \alpha, \quad y = \frac{1}{2} \left(r - \frac{1}{r} \right) \sin \alpha,$$

конформно отображает область D_1 (6) на область фильтрации D (2), при этом задача (3)–(5) переходит в задачу (6)–(9) для функции $u(x(r, \alpha), y(r, \alpha)) = v(r, \alpha)$. Отметим, что переменные r, α являются эллиптическими координатами на основной плоскости (x, y) . В задаче (6)–(9), кроме функции $v(r, \alpha)$, ищем полярный угол $\alpha_0 \in (-\pi, 0)$ (определяющий точку стока (ξ_0, η_0) (9)), при котором выполняется условие (8).

Подбирая особые точки течения, решение задачи (6)–(9) получим в виде

$$v = v_1 + v_2, \quad (11)$$

где

$$v_1 = -\frac{Q}{4\pi} \ln[(\xi - \xi_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2] + \frac{Q}{4\pi} \ln[(\xi - \xi_0)^2 + (\eta + \eta_0)^2],$$

$$v_2 = -\frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{\xi}{\eta} + \frac{\pi}{2} \right),$$

или в полярных координатах (r, α) плоскости ζ :

$$v_1 = -\frac{Q}{4\pi} \ln[r^2 + r_0^2 - 2rr_0 \cos(\alpha - \alpha_0)] + \frac{Q}{4\pi} \ln[r^2 + r_0^2 - 2rr_0 \cos(\alpha + \alpha_0)], \quad (12)$$

$$v_2 = \frac{p}{\pi} \alpha, \quad (13),$$

что проверяется непосредственно. Функция v_1 является потенциалом течения, индуцированного стоком в точке (r_0, α_0) и источником в симметричной точке $(r_0, -\alpha_0)$, а функция v_2 является потенциалом течения, индуцированного вихрем в начале координат [5]. При этом окружность $r = r_0$ является линией тока для обоих потенциалов v_i (12), (13). Полярный угол α_0 найдём из условия

(8). Отсюда с учётом (11) получаем уравнение $2p(1 - \cos \alpha_0) + Q \sin \alpha_0 = 0$, решение которого имеет вид

$$\alpha_0 = -2 \operatorname{arctg} \frac{Q}{2p}, \quad (14)$$

или $Q = -2p \operatorname{tg}(\alpha_0/2)$, где $-\pi < \alpha_0 < 0$. Из последнего равенства следует, что мощность стока (дренажа) Q , расположенного в точке (r_0, α_0) , может меняться в диапазоне $Q \in (0, \infty)$.

При $Q \rightarrow 0$ имеем $\alpha_0 \rightarrow -0$ (14), при этом источник и сток в симметричных точках $(r_0, -\alpha_0)$ и (r_0, α_0) сближаются (12) и стремятся погасить друг друга, т.е. скорость фильтрации от этих особых точек во всей области стремиться к нулю. В данном случае точка B (правая кромка флютбета) попадает в окрестность указанной системы источника и стока (точка B лежит между источником и стоком). Поэтому скорость фильтрации в этой точке должна бесконечно возрастать. Однако при условии $Q \rightarrow 0$ и зависимости (14) скорость фильтрации в точке B имеет конечное значение, компенсирующее скорость от вихря (13).

При $Q \rightarrow +\infty$ имеем $\alpha_0 \rightarrow -\pi$ (14), при этом источник и сток также сближаются (12) и скорость фильтрации от этих особых точек во всей области стремиться к нулю. В данном случае точка B лежит вне окрестности источника (стока) и для того, чтобы в этой точке компенсировать скорость от вихря (13) мощность стока (источника) Q должна возрастать по закону (14).

На плоскости (x, y) координаты точки оптимального расположения стока имеют вид (10), (14). При этом мощность стока Q можно задать так, чтобы жидкость самотёком перетекала из дренажа в нижний бьеф.

Список литературы

1. Непорожний П. С. Гидротехнические сооружения комплексных гидроузлов. М.: Энергия, 1973. 283 с.
2. Чугаев Р. Р. Подземный контур гидротехнических сооружений. Л.: Энергия, 1974. 234 с.
3. Субботин А. С. Основы гидротехники. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 318 с.
4. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977. 660 с.
5. Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Методы теории функций комплексного переменного. М.: Наука, 1973. 736 с.

References

1. Neporozhnii P. S. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya kompleksnykh gidrouzlov. M.: Energiya, 1973. 283 s.
2. Chugaev R. R. Podzemnyi kontur gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. L.: Energiya, 1974. 234 s.
3. Subbotin A. S. Osnovy gidrotekhniki. L.: Gidrometeoizdat, 1983. 318 s.
4. Polubarinova-Kochina P. Ya. Teoriya dvizheniya gruntovykh vod. M.: Nauka, 1977. 660 s.
5. Lavrent'ev M. A., Shabat B. V. Metody teorii funktsii kompleksnogo peremennogo. M.: Nauka, 1973. 736 s.

Статья поступила в редакцию 03.05.2014

УДК 517.956
ББК 22.143

Святослав Евгеньевич Холодовский,
доктор физико-математических наук, профессор,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул.Александрово-Заводская, 30)
e-mail: hol47@yandex.ru

О решении краевых задач для уравнения Пуассона в плоских областях, ограниченных сильно- и слабопроницаемыми плёнками, соединёнными последовательно¹

Рассмотрена задача для оператора Лапласа в квадранте, ограниченном сильно- и слабопроницаемыми плёнками. Методом свёртывания разложений Фурье решение задачи выражено через решение смешанной задачи в данном квадранте с классическими граничными условиями первого и второго рода. Показано, что методом конформных отображений можно расширить класс областей, ограниченных системой сильно- и слабопроницаемых плёнок.

Ключевые слова: краевые задачи, плёночные границы областей, сильно проницаемая плёнка, слабопроницаемая пленка, метод свёртывания разложений Фурье.

Svyatoslav Yevgenyevich Kholodovskii,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: hol47@yandex.ru

On the Solution of Regional Value Problems for the Poisson Equation in Flat Areas Bounded with Strongly and Weakly Permeable Films Connected in Series²

The problem for the Laplace operator in the quadrant with bounded strongly and weakly permeable films. Using the method of convolution of Fourier expansions the solution of the problem expressed in terms of the mixed problem in this quadrant of the classical boundary conditions of the first and second kind. It is shown that the method of conformal mappings can extend the class of domains bounded system strongly and weakly permeable films.

Keywords: boundary value problems, the boundaries of the film, strongly permeable film, weakly permeable film, the method of convolution of Fourier expansions.

В связи с широким применением композитных материалов с нанопокровтиями большой интерес имеют аналитические методы решения краевых задач в областях, ограниченных сильно- и слабопроницаемыми плёнками и их комбинациями.

Рассмотрим для функции $u(x, y)$ в квадранте $D(x > 0, y > 0)$ задачу со смешанными граничными условиями вида

$$\Delta u = 0, \quad (x, y) \in D, \quad (1)$$

$$B\partial_x u - u|_{x=0} = \varphi(y), \quad A\partial_y^2 u - \partial_y u|_{y=0} = \psi(x), \quad (2)$$

$$u(x, y) = O(1), \quad x^2 + y^2 \rightarrow \infty, \quad (3)$$

¹Работа выполнена в рамках Государственного задания вузу Министерства образования и науки Российской Федерации (проект 2014/255 НИР 2603.14).

²The work is performed within the State Task for the Higher Institution of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project 2014/255 NIR 2603.14).

где x, y – декартовы координаты, $\partial_x^n = \partial^n / \partial x^n$, $\varphi(y) \in C^1(R^+)$, $\psi(x) \in C^1(R^+)$. Граничные условия (2) соответствуют условиям на слабопроницаемой плёнке $x = 0$ с параметром $B > 0$ и на сильно проницаемой плёнке $y = 0$ с параметром $A > 0$ [1; 2]. Здесь сначала рассматривается уравнение Лапласа (1).

Методом свёртывания разложений Фурье [3; 4] выразим решение задачи (1)–(3) через решение смешанной задачи в квадранте D с классическими граничными условиями первого и второго рода:

$$\Delta f = 0, \quad f|_{x=0} = \varphi_0(y), \quad \partial_y f|_{y=0} = \psi_0(x), \quad (4)$$

где $f(x, y) = O(1)$ при $x^2 + y^2 \rightarrow \infty$, граничные функции $\varphi_0(y)$, $\psi_0(x)$ определены ниже (см. (22)).

Для вывода общих формул рассмотрим две вспомогательные задачи в полуплоскости $D_1(x > 0, y \in R)$ с граничным условием на слабопроницаемой плёнке и с условием Дирихле соответственно вида

$$\Delta u_1 = 0, \quad B\partial_x u_1 - u_1|_{x=0} = \varphi_1(y), \quad (5)$$

и

$$\Delta f_1 = 0, \quad f_1|_{x=0} = \varphi_1(y), \quad (6)$$

где $\varphi_1(y) \in C(R)$. Выразим решение задачи (5) через решение задачи Дирихле (6).

Предположим сначала, что граничная функция $\varphi_1(y)$ (5), (6) разлагается в интеграл Фурье:

$$\varphi_1(y) = \int_0^\infty g d\lambda, \quad g(y, \lambda) = g_1 \sin \lambda y + g_2 \cos \lambda y, \quad (7)$$

где $g_i(\lambda)$ – коэффициенты Фурье функции $\varphi_1(y)$. Отсюда, решая задачу Дирихле (6) методом Фурье, получим

$$f_1(x, y) = \int_0^\infty e^{-\lambda x} g d\lambda, \quad x \geq 0. \quad (8)$$

Представляя решение уравнения (5) в виде

$$u_1(x, y) = \int_0^\infty a e^{-\lambda x} g d\lambda, \quad x \geq 0, \quad (9)$$

из граничного условия (5) с учётом разложения (7) найдём

$$a = -\frac{\gamma_1}{\lambda + \gamma_1}, \quad \gamma_1 = \frac{1}{B} > 0, \quad (10)$$

при этом функция (9) примет вид

$$u_1(x, y) = -\frac{1}{B} \int_0^\infty \frac{e^{-\lambda x} g}{\lambda + \gamma_1} d\lambda, \quad x \geq 0. \quad (11)$$

Из разложения функции $f_1(x, y)$ (8) следует формула

$$\int_0^\infty e^{-\gamma_1 t} f_1(x + t, y) dt = \int_0^\infty \frac{e^{-\lambda x} g}{\lambda + \gamma_1} d\lambda, \quad x \geq 0.$$

Отсюда функция $u_1(x, y)$ (11) выражается через решение задачи Дирихле (6) без разложений Фурье:

$$u_1(x, y) = -\frac{1}{B} \int_0^{\infty} e^{-\gamma_1 t} f_1(x+t, y) dt. \quad (12)$$

Непосредственно проверяется, что функция (12) является решением задачи (5) при достаточно слабом условии на бесконечности вида

$$|f_1(x, y)| = O(e^{\alpha x}), \quad x \rightarrow +\infty, \quad 0 < \alpha < \gamma_1.$$

Аналогично рассмотрим две задачи в верхней полуплоскости $D_2(x \in R, y > 0)$ с граничным условием на сильно проницаемой плёнке и условием Неймана соответственно вида

$$\Delta u_2 = 0, \quad A \partial_y^2 u_2 - \partial_y u_2|_{y=0} = \psi_2(x) \quad (13)$$

и

$$\Delta f_2 = 0, \quad \partial_y f_2|_{y=0} = \psi_2(x), \quad (14)$$

где $\psi_2(x) \in C(R)$. Выразим решение задачи (13) через решение задачи Неймана (14). Пусть решение задачи Неймана (14) является известной функцией $f_2(x, y)$. Предположим сначала, что функция $f_2(x, 0)$ разлагается в интеграл Фурье:

$$f_2(x, 0) = \int_0^{\infty} h d\lambda, \quad h(x, \lambda) = h_1 \sin \lambda x + h_2 \cos \lambda x, \quad (15)$$

где $h_i(\lambda)$ – коэффициенты Фурье функции $f_2(x, 0)$. Отсюда функция $f_2(x, y)$ при $y \geq 0$ представима в виде

$$f_2(x, y) = \int_0^{\infty} e^{-\lambda y} h d\lambda, \quad y \geq 0 \quad (16)$$

(здесь левая и правая части являются решением задачи Дирихле в полуплоскости $y > 0$ с граничной функцией $f_2(x, 0)$).

Представим решение задачи (13) в виде

$$u_2(x, y) = -f_2(x, y) + \int_0^{\infty} b e^{-\lambda y} h d\lambda, \quad y \geq 0, \quad (17)$$

где $h(x, \lambda)$ имеет вид (15), при этом функция $u(x, y)$ удовлетворяет уравнению (13). Из граничного условия (13) с учётом разложения (16) и граничного условия для функции $f_2(x, y)$ (14) (после сокращения $\psi_2(x)$) найдём:

$$b = 1 - \frac{\gamma_2}{\lambda + \gamma_2}, \quad \gamma_2 = \frac{1}{A} > 0. \quad (18)$$

Отсюда, сокращая в формуле (17) функцию $f_2(x, y)$ (16), решение (17) задачи (13) приведём к виду

$$u_2(x, y) = -\frac{1}{A} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\lambda y} h}{\lambda + \gamma_2} d\lambda, \quad y \geq 0. \quad (19)$$

Из разложения функции $f_2(x, y)$ (16) следует формула

$$\int_0^{\infty} e^{-\gamma_2 \tau} f_2(x, y + \tau) d\tau = \int_0^{\infty} \frac{e^{-\lambda y} h}{\lambda + \gamma_2} d\lambda, \quad y \geq 0.$$

Отсюда функция $u_2(x, y)$ (19) непосредственно выражается через решение $f_2(x, y)$ задачи Неймана (14) в виде

$$u_2(x, y) = -\frac{1}{A} \int_0^{\infty} e^{-\gamma_2 \tau} f_2(x, y + \tau) d\tau, \quad (20)$$

при этом функция $f_2(x, y)$ должна удовлетворять условию

$$|f_2(x, y)| = O(e^{\beta y}), \quad y \rightarrow +\infty, \quad 0 < \beta < \gamma_2.$$

Отметим, что полученные формулы (12), (20) имеют самостоятельный интерес и выражают решения задач (5), (13) в полуплоскости с плёнками через решения аналогичных классических задач без плёнок (6), (14) с сохранением граничных функций. При этом правые части формул (12), (20) представляют собой операторы, действующие на соответствующую функцию $f_i(x, y)$ по одной переменной (другая переменная остаётся свободной).

Представим решение исходной задачи (1)-(3) в виде композиции операторов (12) и (20):

$$u(x, y) = \frac{1}{AB} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-\gamma_1 t - \gamma_2 \tau} f(x + t, y + \tau) dt d\tau, \quad (21)$$

где $f(x, y)$ – решение классической задачи (4) с некоторыми граничными функциями $\varphi_0(y)$, $\psi_0(x)$, подлежащими определению. Из граничного условия (2) при $x = 0$ с помощью интегрирования по частям первого интеграла по t для функции $\varphi_0(y)$ получим интегральное уравнение

$$-\int_0^{\infty} e^{-\gamma_2 \tau} \varphi_0(y + \tau) d\tau = A\varphi(y),$$

решение которого находим посредством замены переменной $\xi = y + \tau$ и дифференцирования по y в виде $\varphi_0(y) = A\varphi'(y) - \varphi(y)$. Аналогично из граничного условия (2) при $y = 0$ получаем $\psi_0(x) = B\psi'(x) - \psi(x)$.

Теорема. Если функция $f(x, y)$ является решением задачи (4), где

$$\varphi_0(y) = A\varphi'(y) - \varphi(y), \quad \psi_0(x) = B\psi'(x) - \psi(x), \quad (22)$$

и $f(x, y)$ удовлетворяет вместе с производными до второго порядка условию

$$|f(x, y)| = O(e^{\delta_1 x + \delta_2 y}), \quad x^2 + y^2 \rightarrow \infty,$$

то функция $u(x, y)$ (21) является решением задачи (1)-(3), где $0 < \delta_i < \gamma_i$, $\gamma_i > 0$ имеют вид (10), (18).

Утверждение теоремы проверяется непосредственно.

Отметим, что решение $f(x, y)$ классической задачи (4) строится по формуле Грина (функция Грина находится методом отражения [5]):

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \psi_0(\xi) \ln \frac{(\xi - x)^2 + y^2}{(\xi + x)^2 + y^2} d\xi + \frac{x}{\pi} \int_0^\infty \varphi_0(\eta) \left[\frac{1}{x^2 + (\eta - y)^2} + \frac{1}{x^2 + (\eta + y)^2} \right] d\eta.$$

Решение задачи в квадранте $D(x > 0, y > 0)$, ограниченном плёнками, для уравнения Пуассона:

$$\Delta w = H(x, y),$$

$$B\partial_x w - w|_{x=0} = \Phi(y), \quad A\partial_y^2 w - \partial_y w|_{y=0} = \Psi(x)$$

имеет вид $w = u + v$, где $v(x, y)$ – решение классической задачи в квадранте D без пленок вида

$$\Delta v = H(x, y), \quad v|_{x=0} = 0, \quad \partial_y v|_{y=0} = 0, \quad (23)$$

а $u(x, y)$ – решение рассмотренной задачи (1)–(3) с граничными функциями $\varphi(y) = \Phi(y) - B\partial_x v(0, y)$, $\psi(x) = \Psi(x) - A\partial_y^2 v(x, 0)$, при этом решение задачи (23) имеет вид:

$$v(x, y) = \frac{1}{4\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty H(\xi, \eta) \ln \frac{[(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2][(\xi - x)^2 + (\eta + y)^2]}{[(\xi + x)^2 + (\eta - y)^2][(\xi + x)^2 + (\eta + y)^2]} d\xi d\eta.$$

Посредством аналитической функции $\zeta = z^2$ ($\zeta = \xi + i\eta$, $z = x + iy$), конформно отображающей квадрант $D(x > 0, y > 0)$ на полуплоскость $G(\xi \in R, \eta > 0)$, по формуле (21) строится решение задачи (1)–(3) в полуплоскости G , ограниченной последовательно соединенными сильно- и слабопроницаемыми плёнками $\eta = 0$ соответственно при $\xi > 0$ и $\xi < 0$, где переменные x, y являются параболическими координатами плоскости ζ . На основании решения последней задачи с помощью дробно-линейных конформных отображений можно строить решения краевых задач в областях, ограниченных прямыми и окружностями, состоящими из последовательно соединённых сильно- и слабопроницаемых плёнок в виде отрезков, лучей и дуг окружностей.

Список литературы

1. Холодовский С. Е. О решении краевых задач в полупространстве, ограниченном многослойной плёнкой // Учёные записки ЗабГГПУ. Сер. «Физика, математика, техника, технология». 2011. № 3(38). С. 160–164.
2. Холодовский С. Е. Решение краевых задач в полуцилиндрах с основанием в виде двухслойной плёнки // Тезисы докладов Междунар. конф., посвящ. 105-летию со дня рождения С. Л. Соболева. Дифференциальные уравнения, функциональные пространства, теория приближений. Ин-т математики им. С. Л. Соболева СО РАН. Новосибирск, 2013. С. 283.
3. Холодовский С. Е. Метод свёртывания разложений Фурье. Случай обобщённых условий сопряжения типа трещины (завесы) в кусочно-неоднородных средах // Дифференциальные уравнения. 2009. Т. 45. № 6. С. 855–859.
4. Холодовский С. Е. Метод свёртывания разложений Фурье. Случай трещины (завесы) в неоднородном пространстве // Дифференциальные уравнения. 2009. Т. 45. № 8. С. 1204–1208.
5. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972.

References

1. Kholodovskii S. E. O reshenii kraevykh zadach v poluprostranstve, ogranichenom mnogoslonoj plenke // Uchenye zapiski ZabGGPU. Ser. «Fizika, matematika, tekhnika, tekhnologiya». 2011. № 3(38). S. 160–164.
2. Kholodovskii S. E. Reshenie kraevykh zadach v polutsilindrakh s osnovaniem v vide dvukhsloinoj plenki // Tezisy dokladov Mezhdunar. konf., posvyash. 105-letiyu so dnya rozhdeniya S. L. Soboleva. Differentsial'nye uravneniya, funktsional'nye prostranstva, teoriya priblizhenii. Institut matematiki im. S. L. Soboleva SO RAN. Novosibirsk, 2013. S. 283.
3. Kholodovskii S. E. Metod svertyvaniya razlozhenii Fur'e. Sluchai obobshchyonnykh uslovii sopryazheniya tipa treshchiny (zavesy) v kusochno-neodnorodnykh sredakh // Differentsial'nye uravneniya. 2009. T. 45. № 6. S. 855–859.
4. Kholodovskii S. E. Metod svertyvaniya razlozhenii Fur'e. Sluchai treshchiny (zavesy) v neodnorodnom prostranstve // Differentsial'nye uravneniya. 2009. T. 45. № 8. S. 1204–1208.
5. Tikhonov A. N., Samarskii A. A. Uravneniya matematicheskoi fiziki. M.: Nauka, 1972.

Статья поступила в редакцию 03.05.2014

УДК 681.3
ББК 22.18

*Булат Тимурович Цынгуев,
аспирант,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул.Александрово-Заводская, 30)
e-mail: btsynguev@gmail.com*

Задача формирования команды на основе онтологической модели компетенций

В статье рассматривается задача формирования оптимальной команды. Команды формируются для решения задач из определённой области знаний, описываемой моделью компетенций. Чтобы успешно справляться с поставленными задачами, команда должна владеть определённым набором компетенций. Модель компетенций представлена в виде онтологии. Предложены методы ранжирования множества кандидатов и оценки оптимальности формируемых команд на основе онтологической модели компетенций.

Ключевые слова: онтология, компетенция, формирование команд, близость к центральности, онтологическая модель компетенций.

*Bulat Timurovich Tsynguev,
Postgraduate Student,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: btsynguev@gmail.com*

Team Formation Problem on the Base of Ontology Model of Competency

The article considers a team formation problem. Teams forming is to decide tasks from some field of knowledge described by competency model. A team can solve tasks more successful if it has a necessary set of competences. Competency model is presented by ontology. In this article the author suggests methods for ranging set of candidates and estimates of efficiency forming teams on the base of ontology model of competency.

Keywords: ontology, competence, team formation, closeness centrality, ontology model of competency.

1. Введение. На сегодняшний день общее число компетенций, практически в любой области деятельности человека, может быть настолько велико, что овладение всем множеством компетенций не представляется возможным. Однако, благодаря общим базовым знаниям и компетенциям специалист может обладать высоким уровнем профессионализма. Это связано с тем, что компетенции могут быть взаимодополняющими и в некотором смысле взаимозаменяемыми.

Интересная модель компетенций представлена в [4], где модель компетенций описана методами нечётких множеств. Оценки компетенции каждого кандидата получают методом экспертных оценок. Для ранжирования кандидатов используется расстояние по Хеммингу между параметрами кандидата и идеального кандидата.

В [5; 7] описаны модели компетенций, где учитываются уровни владения компетенцией. Для решения конкретной задачи требуется некоторый минимальный набор компетенций и к каждой компетенции из указанного набора предъявляется минимальный уровень владения. При формировании команды учитываются уровни владения компетенциями, необходимыми для решения задач, поставленных перед командой.

Совокупность знаний о некоей конкретной предметной области можно представить в виде древовидной структуры, где вершины представляют основные понятия и термины рассматриваемой предметной области, а связи между вершинами – это иерархические отношения «целое–часть». Данные иерархические структуры терминов и понятий принятых в предметной области можно интерпретировать как онтологию [2]. Например, можно получить древовидную структуру (онтологию) путем декомпозиции понятий предметной области до некоторого уровня детализации в соответствии с решаемой задачей. Пример построения подобной онтологической модели представлен в [1].

В [6] бизнес процессы в организации представлены ролями, каждая роль и сотрудник, назначенный исполнять данную роль, описываются набором компетенций. И с помощью онтологической модели компетенций организации определяются компетенции, в которых она нуждается.

В данной работе рассматривается задача формирования оптимальной команды, на основе модели компетенций. Модель компетенций представлена в виде онтологии, которая описывает взаимосвязь между компетенциями в определённой предметной области.

Команды формируются для решения задач из определённой области знаний. Чтобы успешно справляться с поставленными задачами, команда должна владеть определённым набором компетенций.

2. Модель. Пусть $N = \{1, \dots, n\}$ – множество кандидатов, множество компетенций обозначим как $C = \{c_1, \dots, c_m\}$. Множество компетенции кандидата i обозначим как S_i , где $S_i \in C, i = 1, \dots, n$. Множество задач, для решения которых формируется команда, обозначим как $Z = \{Z_1, \dots, Z_t\}$, где $Z_j \in C, j = 1, \dots, t$.

Модель компетенций представлена онтологией O , которая определена деревом T , где корнем дерева T является предметная область, вершины дерева – это компетенции $C = \{C_1, \dots, C_m\}$, а рёбра дерева указывают на иерархическую связь между понятиями-компетенциями разных уровней. Таким образом, онтологическую модель компетенций можно представить как $O = \langle T, C \rangle$.

Введём обозначения: L – высота онтологии O (высота дерева T), $l(c_i)$ – длина пути от корня до компетенции c_i .

Для более удобного формального описания онтологии O закодируем все компетенции в ней. Для этого пронумеруем все вершины-потомки онтологии O , начиная с 1 относительно родительской вершины. Таким образом, мы однозначно закодируем все компетенции с сохранением информации об отношениях между ними.

Определение 1. Адресом компетенции c_i называется вектор $(a_1, a_2, \dots, a_l, a_l + 1, \dots, a_L)$ длины L , где элементы a_1, a_2, \dots, a_l равны номерам вершин, лежащим на пути от корня к компетенции c_i , если $l(c_i) < L$, то элементы $a_{l(c_i)+1}, \dots, a_L$ равны 0.

Тогда расстояние $\rho(c_i, c_j)$ между двумя компетенциями $c_i = (a_1, a_2, \dots, a_L)$ и $c_j = (b_1, b_2, \dots, b_L)$ в онтологии O можно определить следующим образом:

$$\rho(c_i, c_j) = \sum_{i=1}^L I\{a_i \neq b_i \cap (a_i = 0 \cup b_i = 0)\} + 2 \sum_{i=1, j < i}^L ((L-i)I\{a_i \neq b_i \cap (a_j = b_j \cup i = 1) \cap (a_i \neq 0 \cap b_i \neq 0)\}).$$

Чем больше расстояние между компетенциями c_i и c_j в онтологии O , тем больше разница между ними. Компетенция c_i является более ценной, если она находится ближе ко всем остальным компетенциям в онтологии O , т.е. среднее расстояние до всех остальных компетенций $c_j \neq c_i$. Здесь можно использовать меру близости к центральности (closeness centrality) [3] для ранжирования всех компетенций в онтологии O . Мера близости к центральности в оригинальном виде определена как:

$$closeness(v) = \frac{n-1}{\sum_{v \neq t} d(v, t)},$$

где $d(v, t)$ – кратчайший путь между вершинами v и t , а n – число вершин в графе.

Для ясности и отражения сути меры близости к центральности для нашей онтологической модели компетенций введём следующее определение.

Определение 2. Мерой покрытия онтологии O компетенцией c_i называется величина:

$$\gamma(c_i) = \frac{1}{\sum_{c_j \neq c_i, c_j \in C} \rho(c_i, c_j)}, \quad (1)$$

где $\rho(c_i, c_j)$ – расстояние между компетенциями $c_i, c_j \in C$.

Используя меру покрытия, можно ранжировать все компетенции в онтологии.

Определение 3. В онтологии O расстоянием между набором компетенций $S_i \subset C$ и компетенцией $c' \in C$ называется величина $\rho(S_i, c') = \min_{c'' \in S_i} \rho(c'', c')$.

Данное определение расстояния можно рассматривать как степень владения компетенцией c' кандидата i . Если $\rho(S_i, c') = 0$, то следует, что $c' \in S_i$, т.е. кандидат i владеет компетенцией c' . Допустим у кандидата i $\rho(S_i, c') = 2$ и $\rho(S_i, c'') = 4$, тогда можно предложить следующую интерпретацию: кандидат i не владеет компетенциями c' и c'' , но для овладения компетенцией c' ему необходимо время равное 2 и соответственно, для овладения c'' время, равное 4.

Определение 4. Мерой покрытия онтологии O набором компетенций S_i называется величина:

$$\gamma(S_i) = \frac{1}{\sum_{c' \notin S_i, c' \in C} \rho(S_i, c')}, \quad (2)$$

где $\rho(S_i, c')$ – расстояние между набором компетенций $S_i \subset C$ и компетенцией $c' \in C \setminus S_i$.

Функция γ является неаддитивной.

Мера покрытия онтологии O , определённая для набора компетенций, позволяет, например, оценить общий профессиональный уровень кандидата в определённой области. Чем выше мера покрытия, тем лучше кандидат. Мера покрытия соответствует решению задачи выбора наилучшего кандидата, когда имеется такое множество целевых задач, для решения которых в равной степени может понадобиться каждая компетенция из O .

Предположим, что задано некоторое множество задач Z , которые должен выполнять работник. Требуется найти наилучшего подходящего работника из предлагаемых кандидатов.

Пусть множество задач Z определено множеством компетенций, необходимых для успешного решения задач из Z , т. е. $Z = \{Z_1, \dots, Z_t\} = \bigcup_{k=1}^t C_k = \{c_1^z, \dots, c_r^z\}$, где $C_k \subseteq C$ – множество компетенций, необходимых для решения задачи Z_k .

Введём характеристическую функцию:

$$v_i(x) = \sum_{\rho=0}^{2L} \alpha_\rho x^\rho, \quad (3)$$

где α_ρ – число компетенций из $\{c_1^z, \dots, c_r^z\}$ на расстоянии ρ от ближайшей компетенции S_i кандидата i в онтологии O , $x \in [0, 1]$.

Отметим, что $\max_{c_i, c_j \in C} \rho \leq 2L$, т. к. наибольшее расстояние между двумя компетенциями не превышает $2L$.

Рассмотрим многокритериальную оценку кандидата.

Пусть все компетенции множества $Z = \{c_1^z, \dots, c_r^z\}$ имеют разные веса w_k^z , где w_k^z – вес компетенции c_k^z . Тогда получим следующую оценку кандидата i :

$$E_i = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r w_k^z \rho(S_i, c_k). \quad (4)$$

Далее представим формализованную постановку задачи формирования команды.

При заданных значениях $\langle Z, N, O, q \rangle$, где q – число членов в команде, требуется определить оптимальную команду из множества кандидатов N .

Предположим, что команда владеет всеми компетенциями её членов, т. е. множество компетенций команды состоит из объединения множеств компетенций её членов. Таким образом, приведённые критерии оценки отдельных кандидатов (2)–(4) справедливы и для оценки оптимальности формируемой команды.

3. Примеры. На рис. 1 представлен пример упрощённой онтологии компетенций из предметной области: «Олимпиада по программированию». Для решения конкретной задачи, выдаваемой на олимпиаде команда должна владеть определённым набором компетенций, необходимых для ее решения. Если команда не владеет какой-нибудь компетенцией, то она может компенсировать этот недостаток другими компетенциями близкими к недостающей и всё же решить поставленную задачу. Далее на примерах будем исследовать данную онтологию компетенций.

В начале рассмотрим задачи без указания конкретного множества решаемых задач и будем определять ценность команды относительно всей онтологии компетенции. Или другими словами в случае, когда множество целевых задач задано так, что для их решения в равной степени может понадобиться каждая компетенция из O .

Для этого используем меру покрытия, где оптимальной командой будет та, которая обеспечивает максимальное покрытие онтологии.

Пример 1.

Рассмотрим задачу формирования команды для участия в олимпиаде по программированию (см. рис. 1). Рассмотрим простой пример, где каждый кандидат владеет только одной компетенцией: $S_1 = (1, 1, 1, 0)$, $S_2 = (1, 2, 1, 1)$, $S_3 = (1, 2, 2, 1)$, $S_4 = (1, 3, 2, 0)$, $S_5 = (2, 1, 5, 0)$, $S_6 = (2, 2, 2, 0)$ и $S_7 = (2, 1, 1, 0)$.

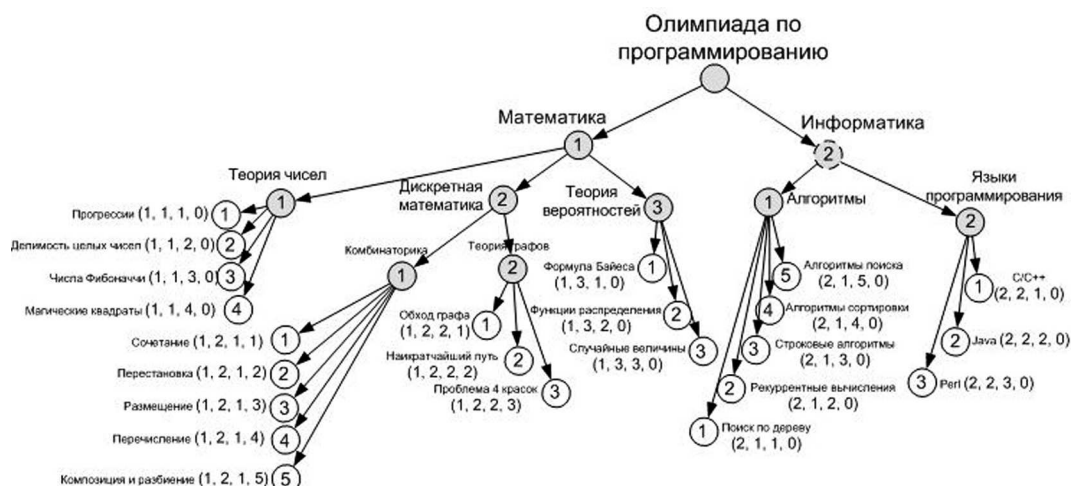


Рис. 1. Пример онтологии «Олимпиада по программированию»

Оптимальные команды в зависимости от числа членов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Меры покрытия кандидатов

Кандидат	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
Мера покрытия (γ)	$\frac{1}{106}$	$\frac{1}{111}$	$\frac{1}{115}$	$\frac{1}{108}$	$\frac{1}{118}$	$\frac{1}{122}$	$\frac{1}{118}$

Таблица 2

Оптимальные команды в зависимости от числа членов

Число членов в команде (q)	Состав оптимальной команды	Мера покрытия команды (γ)
2	{2, 5} или {2, 7}	$\frac{1}{75}$
3	{1, 2, 5} или {1, 2, 7}	$\frac{1}{58}$
4	{1, 2, 5, x } или {1, 2, 7, x }, где x один из кандидатов {3, 4, 6}	$\frac{1}{50}$

Отметим, что компетенции кандидатов $S_5 = (2, 1, 5, 0)$ и $S_7 = (2, 1, 1, 0)$ принадлежат одной группе «Алгоритмы», имеют равную меру покрытия (см. табл. 1) и являются взаимозаменяемыми.

В связи с увеличением числа членов формируемой команды увеличивается число оптимальных альтернатив.

Далее рассмотрим случай при $q = 3$, когда в команду уже включён один из кандидатов, для определённости назовём его капитаном. Если капитан назначен из множества {1, 2, 5, 7}, то оптимальными командами будут {1, 2, 5} или {1, 2, 7} (см. табл. 2). Если же возьмём капитана не из оптимального множества {1, 2, 5, 7}, а из множества {3, 4, 6}, то получим результат, представленный в табл. 3.

Таблица 3

Оптимальные команды при $q = 3$ с капитаном из множества $\{3, 4, 6\}$

Оптимальная команда		Мера покрытия команды (γ)
Кандидат, включённый в команду (капитан)	Остальные кандидаты, включённые в команду после капитана	
{3}	{1, 5}	$\frac{1}{62}$
{4}	{2, 5}	$\frac{1}{62}$
{6}	{1, 2}	$\frac{1}{62}$

Пример 2.

Пусть дана онтология (см. рис. 1). Рассмотрим задачу формирования команды, где кандидаты

владеют компетенциями: $S_1 = \begin{pmatrix} 2, 1, 1, 0 \\ 2, 1, 3, 0 \\ 2, 2, 1, 0 \end{pmatrix}$, $S_2 = \begin{pmatrix} 2, 1, 2, 0 \\ 2, 2, 1, 0 \\ 2, 2, 2, 0 \end{pmatrix}$, $S_3 = \begin{pmatrix} 1, 2, 1, 2 \\ 1, 2, 2, 1 \end{pmatrix}$, $S_4 = \begin{pmatrix} 1, 1, 1, 0 \\ 1, 3, 2, 0 \end{pmatrix}$,
 $S_5 = \begin{pmatrix} 1, 2, 2, 1 \\ 1, 3, 1, 0 \end{pmatrix}$, $S_6 = \begin{pmatrix} 1, 2, 2, 2 \\ 2, 2, 2, 0 \end{pmatrix}$, $S_7 = \begin{pmatrix} 1, 3, 1, 0 \\ 2, 1, 5, 0 \end{pmatrix}$.

Таблица 4

Меры покрытия кандидатов

Кандидат	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
Мера покрытия (γ)	$\frac{1}{108}$	$\frac{1}{108}$	$\frac{1}{103}$	$\frac{1}{98}$	$\frac{1}{92}$	$\frac{1}{83}$	$\frac{1}{80}$

Если надо выбрать единственного кандидата, то надо выбрать {7}, так как у него наибольшая мера покрытия $\gamma(S_7) = \frac{1}{80}$.

Оптимальные команды в зависимости от числа членов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Оптимальные команды в зависимости от числа членов

Число членов в команде(q)	Состав оптимальной команды	Мера покрытия команды(γ)
2	{3, 7}	$\frac{1}{52}$
3	{1, 3, 4} или {2, 3, 4}	$\frac{1}{32}$
4	{1, 2, 3, 4} или {1, 6, 3, 4} или {1, 7, 3, 4} или {2, 7, 3, 4}	$\frac{1}{28}$

Из полученных результатов видно, что в случае, когда уже сформирована эффективная команда из $q = 2$ членов {3, 7}, то для формирования оптимальной команды из $q = 3$ членов, придётся сначала исключить из команды кандидата {7}, и только потом добавить {1, 4} или {2, 4}.

Следующие команды имеют равные меры покрытия, но состоят из разного числа членов в команде:

1. {7} и {3, 5} с мерой покрытия $\frac{1}{80}$;
2. {3, 7} и {1, 2, 4, 7} с мерой покрытия $\frac{1}{52}$;
3. {1, 3, 7} и {1, 2, 4, 6} с мерой покрытия $\frac{1}{40}$.

В табл. 6 представлены результаты для случая с капитаном, который не входит в оптимальные множества из табл. 5 для заданного числа членов q .

Оптимальные команды с капитаном не из оптимального множества

Число членов в команде(q)	Оптимальная команда		Мера покрытия команды (γ)
	Кандидат, включённый в команду (капитан)	Остальные кандидаты, включённые в команду после капитана	
3	{5}	{1, 3} или {1, 4} или {2, 3} или {2, 4}	$\frac{1}{42}$
3	{6}	{1, 4} или {3, 7}	$\frac{1}{42}$
3	{7}	{1, 3} или {2, 3} или {3, 4}	$\frac{1}{40}$
4	{5}	{1, 3, 4} или {2, 3, 4}	$\frac{1}{30}$

Далее рассмотрим пример задачи формирования команды, где задано конкретное множество решаемых задач.

Пример 3.

Пусть число кандидатов $n = 3$ с компетенциями: $S_1 = \begin{pmatrix} 2, 1, 1, 0 \\ 2, 2, 2, 0 \end{pmatrix}$, $S_2 = \begin{pmatrix} 1, 1, 4, 0 \\ 2, 2, 3, 0 \end{pmatrix}$ и $S_3 = \begin{pmatrix} 2, 1, 1, 0 \\ 1, 1, 1, 0 \end{pmatrix}$, а также задан набор целевых компетенций $Z = \begin{pmatrix} 1, 1, 1, 0 \\ 2, 1, 2, 0 \\ 2, 1, 1, 0 \end{pmatrix}$ в онтологии, представленной

на рис. 1.

Если рассматривать в качестве оценки кандидатов характеристическую функцию (3), то относительно заданного набора Z получим следующие оценки: $v_1(x) = 2x^2 + x^6$, $v_2(x) = 2x^2 + x^4$ и $v_3(x) = 1 + x^2 + x^4$, т.е. $\{1\} < \{2\} < \{3\}$. Если рассматривать формирование команды с $q = 2$, получаем $v_{S_1 \cup S_3}(x) = 3x^2$, $v_{S_1 \cup S_2}(x) = 1 + 2x^2$ и $v_{S_2 \cup S_3}(x) = 1 + 2x^2$. Отсюда следующие оптимальные команды: $\{1, 2\}$ или $\{2, 3\}$.

Рассмотрим оценку (4) для заданного набора Z , где $w_k^z = 1, k = 1, \dots, r$. Получим следующие оценки $E_1 = \frac{8}{3}$, $E_2 = \frac{10}{3}$, $E_3 = \frac{4}{3}$, т.е. $\{2\} < \{1\} < \{3\}$. Для $q = 2$, получаем следующее $E_{S_1 \cup S_2} = \frac{4}{3}$, $E_{S_1 \cup S_3} = \frac{2}{3}$, $E_{S_2 \cup S_3} = \frac{4}{3}$, т.е. оптимальной командой будет $\{1, 3\}$.

Заключение. В статье рассматривается задача формирования оптимальной команды на основе модели компетенций. Модель компетенций представлена в виде онтологии, которая описывает взаимосвязь между всеми компетенциями в определённой предметной области.

Для данной онтологической модели компетенций рассматриваются методы ранжирования множества кандидатов и оценки оптимальности формируемых команд. Предложена мера покрытия, которая позволяет оценить произвольное множество компетенций относительно всей онтологии. В качестве оценки формируемой команды при заданном множестве решаемых задач, используются характеристическая функция и многокритериальный параметр, основанные на расстоянии между компетенциями в онтологии. Задача многокритериальной оптимизации решается методом взвешенных сумм.

Автор выражает благодарность доктору физ. -мат. наук, профессору В. В. Мазалову за постановку задачи и содействие в работе.

Список литературы

1. Вдовицын В. Т., Лебедев В. А. Онтологическое моделирование контента электронной библиотеки КарНЦ РАН // Труды КарНЦ РАН. Сер. «Математическое моделирование и информационные технологии». 2010. Вып. № 1. № 3. С. 11–19.
2. Фазлиев А. З. Рассуждения о понятии «онтология» // Онтологическое моделирование. Труды симпозиума. Звенигород, 2008. С. 278–296.
3. Beauchamp M.A. An improved index of centrality // Behavioral Science. 1965. Vol. 10. P. 161–163.

4. Canós L., Casasús T., Crespo E., Lara T. and Pérez J.C. Personnel selection based on fuzzy methods // Revista De Matemática: Teoría Y Aplicaciones. 2011. Vol. 18. №. 1. P. 177–192.
5. Hlaioittinun O., Bonjour E., Dulmet M. A team building approach for competency development // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. 2007. P. 1004–1008.
6. Macris A., Papadimitriou E., Vassilacopoulos G. An ontology-based competency model for workflow activity assignment policies // Journal of Knowledge Management. 2008. Vol. 12 Iss: 6. P. 72–88.
7. Tarasov V. Ontology-based Approach to Competence Profile Management // Journal of Universal Computer Science. 2012. Vol. 18. №. 20. P. 2893–2919.

References

1. Vdovitsyn V. T. Lebedev V. A. Ontologicheskoi modelirovanie kontenta elektronnoi biblioteki KarNTs RAN // Trudy KarNTs RAN. Ser. « Matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii». 2010. Vyp. № 1. № 3. S. 11–19.
2. Fazliev A. Z. Rassuzhdeniya o ponyatii «ontologiya» // Ontologicheskoe modelirovanie. Trudy simpoziuma. Zvenigorod, 2008. S. 278–2
3. Beauchamp M.A. An improved index of centrality // Behavioral Science. 1965. Vol. 10. P. 161–163.
4. Canós L., Casasús T., Crespo E., Lara T. and Pérez J.C. Personnel selection based on fuzzy methods // Revista De Matemática: Teoría Y Aplicaciones. 2011. Vol. 18. №. 1. P. 177–192.
5. Hlaioittinun O., Bonjour E., Dulmet M. A team building approach for competency development // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. 2007. P. 1004–1008.
6. Macris A., Papadimitriou E., Vassilacopoulos G. An ontology-based competency model for workflow activity assignment policies // Journal of Knowledge Management. 2008. Vol. 12 Iss: 6. P. 72–88.
7. Tarasov V. Ontology-based Approach to Competence Profile Management // Journal of Universal Computer Science. 2012. Vol. 18. №. 20. P. 2893–2919.

Статья поступила в редакцию 29.04.2014

ПОЛЕМИКА. ЛЮДИ. СОБЫТИЯ

POLEMIC. PEOPLE. EVENTS

УДК 53:008

ББК 71:74.04 (2)

*Лидия Александровна Бордонская,
доктор педагогических наук, профессор,
Забайкальский государственный университет
(672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30)
e-mail: gsbord@chitaonline.ru*

Физика и культура

2014 год объявлен в России годом культуры. Культура целостна. Она представляет собой систему взаимосвязанных элементов (искусство, наука, мораль, образование и т. д.). В статье на основе анализа литературы в области естественнонаучного знания, философии, культурологии, искусствоведения наука рассмотрена в контексте культуры, выделена общекультурная составляющая науки, представлена общекультурная составляющая физики.

Взаимосвязь науки и культуры, выделение общекультурной составляющей науки проведено на базе физики как науки, являющейся наиболее ярким представителем естественных наук, лежащей в основе всего естествознания, имеющей глубокую содержательную историю, занимающей особое место в культуре.

К содержательным основам взаимосвязи науки и культуры отнесены: наука как элемент культуры; наука и искусство – явления мировой культуры; культурное наследие, сохранение культурного наследия; научное и художественное творчество, жизнедеятельность творческих личностей; история науки в контексте культуры. Конкретизация содержательных основ взаимосвязи науки и культуры обеспечивает выделение содержательных элементов, раскрывающих взаимосвязь науки и культуры, определяющих общекультурную составляющую науки.

Содержательные элементы раскрыты на примере взаимосвязи науки и искусства, физических методов исследования, истории науки.

Ключевые слова: культура, наука, искусство, физика, естественнонаучная культура, содержательные основы взаимосвязи науки и культуры, общекультурная составляющая физики.

*Lydia Aleksandrovna Bordonskaya,
Doctor of Pedagogy, Professor,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: gsbord@chitaonline.ru*

Physics and Culture

2014 has been announced as the Year of Culture in Russia. Culture is integral. It is a system of interrelated elements (art, science, morality, education, etc.). The paper presents science in the context of culture based on literature analysis in natural science, philosophy, cultural studies, art studies; it emphasizes cultural component of science and cultural component of physics.

Interrelation between science and culture and emphasis on the cultural component of science are based on physics as one of the most important natural sciences and foundation of natural science in general which has a long history and plays a particular role in culture.

The content bases of science and culture interrelation can include: science as a culture element; science and art as world culture phenomena; cultural heritage and its preservation; scientific and artistic creation, creative persons' life activity; history of science in the context of culture. Specification of the content bases of science and culture interrelation provides the emphasis on the content elements showing science and culture interrelation, determining cultural component of science.

The content elements are shown on the example of interrelation between science and art, physical methods of research and history of science.

Keywords: culture, science, art, physics, natural - science culture, content bases of science and culture interrelation, cultural component of physics.

Наука и культура. Наука и культура определяют существование человека в мире, его деятельность и результаты этой деятельности. Культура – понятие многогранное. Культура производится от деятельности человека, поэтому её строение целесообразно определять многомерной структурой, порождающей культуру деятельности. Существенным для понимания культуры является процессуально-созидательная сторона деятельности, а также предметное существование продуктов человеческой деятельности.

Рассматривать культуру будем как сложное, целостное, системное образование. Так, исходным моментом для понимания «внутренней жизни культуры» М. С. Каган [10] считает выделение из духовной художественной культуры, взаимное опосредование материальной, духовной и художественной культуры. В структуре деятельности он выделяет преобразовательную деятельность, общение, познавательную деятельность, ценностно-ориентационную деятельность, художественное освоение мира.

Вслед за М. С. Каганом будем считать художественную деятельность особой сферой культуры. Согласимся также с мнением ряда учёных (Н. С. Злобин, В. Ж. Келле, Э. С. Маркарян и др.), которые полагают, что, если выделять художественную культуру, то можно и нужно к отдельной сфере культуры отнести и научную культуру [8; 15; 17].

Культура целостна. Она представляет собой систему взаимосвязанных элементов (искусство, мораль, наука, образование и т. д.). Особое место в системе культуры отводится искусству (художественной культуре). Основанием искусства является художественное творчество, исполненное на высочайшем уровне с выраженными чертами уникальности и неповторимости авторского почерка. Задача искусства – интеллектуально-творческое отражение бытия в художественных образах. А что можно сказать о науке? Каковы взаимосвязи науки и искусства, науки и культуры в целом?

История и традиции мировой культуры свидетельствуют о том, что развитие науки шло в единстве и взаимодействии с остальными элементами культуры и культурой в целом [13; 14; 16; 22 и т. д.]. В настоящее время имеет место расширенное понимание культуры – включение науки в культуру, рассмотрение её с позиций культуры. По мнению Н.С. Злобина, основанием для рассмотрения науки с позиций культуры является «целостность человека, представленная принципиальной неразрывностью в его сущностных – субъектных определениях предметной деятельности и общения» [8, с. 21]. И далее он отмечает: «Применительно к нашей эпохе речь должна идти не о взаимодополнительности науки и культуры, не об их сочетании, а о преодолении их взаимной овнешности, т. е. о восстановлении их былого органического единства» [8, с. 21]. В. Ж. Келле, говоря о культуре, утверждает, что «наука не может рассматриваться как нечто внеположенное ей – она есть элемент культуры, точнее – одна из её подсистем, необходимых для успешного осуществления культурой своих основных социальных функций» [16, с. 21].

Представим науку в контексте культуры, обоснуем возможности выделения общекультурной составляющей, определим общекультурную составляющую науки, рассмотрев науки естественные. Для раскрытия взаимосвязи науки и культуры, общекультурной составляющей науки обратимся к физике как к науке, лежащей в основе всего естествознания, имеющей глубокую и содержательную историю развития, занимающую особое место в системе наук и в культуре в целом.

Физика, как известно, изучает простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, законы движения объектов материального мира. Вследствие этого не существует явлений природы, не имеющих физических свойств или сторон. Понятия физики лежат в основе всего естествознания. Физические методы исследования широко используются в различных сферах человеческой деятельности.

Физика обеспечивает естественно-научный взгляд на мир, изучая:

- строение и свойства всех видов материи (вещество поле, физический вакуум) на всех масштабных уровнях (мега-, макро-, микромир) и структурных уровнях;
- формы существования материи - пространство и время;
- движение и взаимодействие объектов.

Физика является наиболее ярким представителем естествознания, объединяет все естественные науки.

Обобщение высказываний учёных, рассматривавших проблемы взаимоотношений науки и культуры (В. С. Библер, М. С. Каган, И. Пригожин и др.) [10; 19; 22; 28 и т. д.] позволяет утверждать, что включение наук о природе (естественных наук) в культуру осуществляется через:

- отношения в системе «культура-природа»;
- выделение общекультурной составляющей естествознания (идеи, принципы, понятия, научная рациональность, стиль мышления, картина мира);
- взаимоотношения науки и искусства (осознание дополнительности науки и искусства, использование достижений науки в искусстве, рассмотрение произведений искусства с точки зрения науки и т. д.);
- использование категорий культуры для характеристики научно-технического творчества и его результатов;
- обращение к истории естествознания в целом и истории развития отдельных естественных наук.

Сделаем несколько замечаний по поводу особенностей и значения естественных наук.

Во-первых, естественные науки являются основой миропонимания. Научное понимание природы существенно определяет внутренний мир человека, сферу его представлений, ощущений, переживаний, характер его потребностей и интересов. Научная картина мира обеспечивает формирование мировоззрения современного человека. Стиль научного мышления, сформировавшийся в естествознании, становится общепризнанным. Естественные науки своими методологическими установками, мировоззренческими идеями и представлениями оказывают влияние на гуманитарные науки.

Во-вторых, большая часть материальной культуры создана на базе естественных наук, а «продукты духовной культуры» (идеи, понятия, теории, литература, музыка и т.п.) воплощаются в определённых материальных носителях.

В-третьих, достижения естественных наук имеют широкое применение во всех сферах человеческой деятельности (искусство, техника, образование и др.), позволяют решать глобальные проблемы современности. Благодаря естественным наукам появляются возможности изучения и сохранения культурного наследия.

В-четвертых, история становления и развития естественнонаучного знания даёт яркие примеры взаимосвязи и взаимообусловленности науки и культуры.

Фактически всё, что сказано о значении естественных наук, имеет непосредственное отношение к физике. Более того, рассмотрение проблем взаимосвязи науки и культуры чаще всего осуществляется на материале физики – её современных достижениях и богатейшей истории этой науки. На сегодняшний день существует достаточно обширная литература, в которой так или иначе затрагиваются различные аспекты взаимосвязи физики и культуры. Проблемы общекультурного значения науки в целом и физики в частности обсуждались и обсуждаются как величайшими физиками (Н. Бор, Л. Больцман, П. Л. Капица, Р. Опенгеймер, И. Пригожин, И. Раби, Р. Фейнман, Н. А. Умов, Э. Шредингер, А. Эйнштейн и другими [1; 18; 19; 26; 32 и т. д.], так и специалистами по истории науки и культуры, философами, культурологами, современными учёными (В. С. Библер, Д. И. Блохинцев, М. В. Волькенштейн, И. А. Евин, Ф. Капра, А. И. Китайгородский, А. Койре, Б. Г. Кузнецов, А. Б. Мигдал, Б. В. Раушенбах, В. С. Степин, Ю. В. Сачков, Е. Л. Фейнберг и др.) [7; 11; 13; 21; 22; 23; 27; 33 и т. д.].

Наука как самая динамичная сфера человеческой деятельности накладывает свой отпечаток на всю историю нашего времени, на её основе создан технологический базис современной цивилизации, она «революционизирует» все виды человеческой деятельности, коренным образом меняет облик современной культуры.

Анализ литературы по проблемам взаимосвязи науки и культуры [3; 5; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 17; 21; 22; 24; 28; 33 и т. д.] позволяет применительно к физике выделить содержательные основы взаимосвязи науки и культуры, определяющие общекультурную составляющую науки.

К содержательным основам взаимосвязи науки и культуры, определяющим общекультурную составляющую науки, отнесём следующие составляющие:

1. Наука как элемент культуры.
2. Наука и искусство – явления мировой культуры.
3. Культурное наследие. Сохранение культурного наследия.
4. Научное и художественное творчество. Жизнедеятельность творческих личностей.
5. История науки в контексте культуры.

Каждая составляющая многомерна и может быть представлена через содержательные элементы, раскрывающие взаимосвязь науки и культуры, определяющие общекультурную составляющую науки.

Содержательные элементы, раскрывающие взаимосвязь науки и культуры, определяющие общекультурную составляющую науки.

НАУКА КАК ЭЛЕМЕНТ КУЛЬТУРЫ

- Наука и культура:
 - Наука и реализация основных функций культуры: гносеологической, семиотической, аксиологической, трансляционной, человеко-творческой, нормативно-регулятивной, коммуникативной.
 - Социокультурное значение науки.
 - Влияние науки на культуру. Обусловленность науки культурой. Современный этап развития науки и культуры.
 - Общие основания науки и культуры (идеалы, нормы, философские основания, ценности, понятия, идеи, подходы).
 - Естественно-научное и гуманитарное знание как взаимодополнительные области единого целого.
- Общекультурная ценность науки:
 - Естественные науки и культура.
 - Фундаментальные понятия и категории культуры.
 - Система взглядов на мир и его познание: мировосприятие, отражение мира, миропонимание (идеи, принципы, методы познания, стратегии познания и стили мышления, эволюционно-синергетический и системный подходы, картина мира).
 - Эстетические категории и принцип красоты в науке.
 - Наука – природа – культура.

НАУКА И ИСКУССТВО – ЯВЛЕНИЯ МИРОВОЙ КУЛЬТУРЫ

- Наука и искусство:
 - Диалог научного и художественного познания.
 - Наука и искусство – два взаимодополнительных способа отражения мира.
 - Наука и искусство: общее и отличительное.
 - Взаимовлияние и взаимообусловленность науки и искусства.
 - Наука и искусство: взаимосвязь и взаимодействие.
- Наука в различных видах искусства (литература, музыка, архитектура, скульптура, изобразительное искусство, театр, динамические виды искусства, декоративно-прикладное искусство):
 - Научные основы создания произведений искусства (техники, технологии, специальные приборы, устройства, инструменты).
 - Анализ произведений искусства с позиций науки.
 - Современные достижения науки и создание новых видов искусства, совершенствование традиционных (существовавших ранее) видов искусства.
 - Природа в зеркале искусства.
 - Творчество в науке и в искусстве.

КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ

- Наука и материальные памятники культуры.
- Научное наследие (научные труды, экспериментальные установки, приборы, технические решения, технологии и т. п.).
 - Памятники науки и техники.
 - Исследование произведений искусства, материальных памятников культуры.
 - Сохранение культурного наследия. Экокультура.
 - Музеи науки, техники, художественные музеи.

НАУЧНОЕ И ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ТВОРЧЕСТВО. ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ТВОРЧЕСКИХ ЛИЧНОСТЕЙ

- Учёный как «образ», «отражение» культуры соответствующей эпохи.
- Уникальность творчества учёных. Вклад учёного в развитие науки и культуры.
- Влияние творчества учёных на процессы познания мира и культуру.
- Жизнь и творчество выдающихся представителей науки и культуры.
- Диалог науки и культуры в творчестве учёных и деятелей культуры и искусства (диалог научного и художественного взгляда на мир, внутренний диалог научного и художественного познания – «двойная спираль» творчества и т. п.).

ИСТОРИЯ НАУКИ В КОНТЕКСТЕ КУЛЬТУРЫ

- Диалог эпох (фундаментальные споры эпох) – переключки эпох при рассмотрении эволюции конкретных идей, понятий, подходов (имеются в виду важнейшие категории культуры: пространство, время, движение, взаимодействие, причинность).
- Культурное единство эпохи.
- Диалог естественнонаучной и гуманитарной культур в развитии научного знания.
- Наука и культура в единстве и взаимодействии в конкретные исторические периоды.
- Научные революции и мировая культура.
- Традиции в науке, научные школы и мировая культура.
- Общекультурные корни основных научных открытий.

Раскроем взаимосвязь и взаимодействие науки и искусства, опираясь на работы Д. И. Блохинцева, А. В. Волошинова, В. Л. Глазычева, И. А. Евина, О. П. Мороза, М. С. Пенкина, Б. В. Раушенбаха, А. К. Сухотина и др. [1; 4; 5; 7; 12; 16; 20; 21; 23; 24; 25; 28; 30 и т. д.].

Наука и искусство. Наука и искусство оказывают всеохватывающее влияние на человека, от них зависит уровень развития общества и человеческой цивилизации в целом. Их единство – залог последующего развития культуры. Наука и искусство – явления мировой культуры, два различных типа восприятия мира и постижения истины, два рода духовной деятельности. «Наука и искусство, пишет Д. И. Блохинцев, – это два дополняющих друг друга отношения к окружающему миру, ни одно из них не может заменить другое. ... Наука исследует мир объективными методами, она открывает нам законы природы и создаёт тем самым основу материального существования человечества. Искусство вытекает из непосредственного контакта с миром и через эмоциональное воздействие объясняет нам своим особым языком структуру мира и сущность человека. ... Наука есть основа миропонимания, искусство основа мировосприятия, их сумма есть основа гармонического восприятия всего мира – основа человеческого мироотношения» [24, с. 59].

Наука и искусство как составляющие культуры во все времена развиваются в единстве и взаимодействии. Для современного этапа развития цивилизации характерно сближение науки и искусства. В качестве факторов их сближения можно определить:

- Единство мира и его познания.
- Специфику современного мира и современного искусства.
- Достижения современной науки и особенности современной техногенной цивилизации.
- Компьютерные технологии (возможности применения компьютера для создания произведений искусства, анализа произведений искусства).
- Современные технологии создания и обработки материалов, новые материалы.
- Возможности приложения синергетики к искусству и культуре в целом (диссипативные системы, процессы самоорганизации, фрактальные объекты и т. п.).
- Единение науки и культуры в соответствии с современной культурной ситуацией (новое мышление, постмодернизм, диалог культур, «стрела времени» и т. п.).

Здесь уместно вспомнить слова Г. Флопера: «... чем дальше, тем искусство становится более научным, а наука более художественной; расставшись у основания, они встретятся когда-нибудь на вершине» [19, с. 311].

Выявим взаимосвязь науки и искусства, исходя из особенностей науки и искусства, возможностей приложения науки к сфере искусства, единства культуры и взаимосвязи всех её элементов. При этом особое внимание следует уделить ряду позиций:

1. Наука в различных видах искусства.
2. Научные основы создания произведений искусства.
3. Анализ произведений искусства с точки зрения науки.
4. Взаимное влияние науки и искусства.

5. Научные методы изучения и сохранения произведений искусства (технико-технологические исследования).

6. Диалог науки и искусства.

Схема 1 отражает основные стороны взаимосвязи науки и искусства, проявления этой взаимосвязи.



Схема. Наука и искусство: взаимосвязь и взаимодействие

Говоря о взаимосвязи науки и искусства, выделим две линии: **влияние науки на искусство** и **влияние искусства на науку** [3; 4; 6; 7; 14; 20; 23 и т. д.].

Каким же образом наука воздействует на искусство?

– Науку можно рассматривать в качестве «поставщика» тем и сюжетов, наука может быть составной частью литературных произведения и т. д.

– Наука обеспечивает появление новых материалов, разработку особых технологий создания

произведений искусства, создание специальных условий для экспонирования и хранения произведений искусства и т. п.

- Знание законов, закономерностей протекания процессов и явлений, понимание особенностей поведения материалов в различных условиях позволяют мастеру создавать высокохудожественные произведения, обеспечивают их «долгую жизнь».
- Особо следует отметить влияние достижений современной науки на искусство.
- Новое понимание (прочтение) произведений искусства (например, использование синергетики для исследований в литературе, музыке и т. д.).
- Анализ произведений искусства с позиций современной науки (пейзажная живопись и фрактальные объекты, теории перспективы, структура литературных произведений и т. п.).
- Отражение в искусстве основных тенденций и достижений современной науки (неоднозначность, дополнительность, симметрия и т. п.).
- Новые открытия в науке и исследование произведений искусства, материальных памятников культуры, решение проблем их сохранности.
- Совершенствование (модернизация) «старых» – традиционных видов искусства, появление новых видов искусства (звукозапись, музыкальные инструменты, кино и т. д.).
- Синтез научных и художественных проблем, средств и техник – синтез художественной культуры и точного знания (светомузыка, термен-вокс, фракталы и съемка фильмов, голограммы уникальных произведений искусства и материальных памятников культуры в качестве экспонатов передвижных выставок и т. д.).
- Широкое распространение художественной культуры, знакомство массового зрителя, слушателя с шедеврами мировой культуры за счёт возможностей современных средств передачи и хранения информации, создания виртуальных музеев.

Воздействие искусства на науку весьма разнообразно:

- Искусство можно рассматривать в качестве своеобразного «поставщика информации» для науки, так как наука, как бы определённым образом ориентируется на «художественные пророчества», представленные в литературных произведениях (сказки, научная фантастика, повести, рассказы, романы).
- Применимость эстетических критериев к процессу научного творчества и его результатам.
- Эмоциональное воздействие искусства на творцов науки. Музыка, литература, живопись, скульптуры, театр, кино в жизни учёных.
- Художественное творчество учёных – «двойная спираль» творчества.
- Появление ряда наук на основе единения искусства и науки (искусствознание как методология отдельных видов искусства, философия искусства и др.).

Дадим краткие пояснения по поводу взаимосвязи науки и искусства, исследования и сохранения произведений искусства, материальных памятников культуры.

Физика и музыка. Научные основы музыки (музыкальные звуки, их происхождение, распространение звука). Музыкальные инструменты как специфические физико-акустические приборы. Физика и современные музыкальные инструменты, новые способы записи и воспроизведения звука. История физики и история музыки: точки соприкосновения.

Физика и архитектура. Взаимосвязи физики и архитектуры многогранны и глубоки: строительные материалы (свойства и особенности материалов, их поведение в различных условиях), механика архитектурных сооружений и конструкций, архитектурная акустика, специфические инженерно-строительные операции, особенности уникальных архитектурных сооружений.

Архитектор свободно оперирует физическими терминами: деформация, прочность, давление, устойчивость, центр масс и другими; производит расчеты на основе физических законов; при проектировании зданий и сооружений учитывает физические свойства материалов, технико-физические особенности различных конструкций.

Физика и скульптура. Взаимосвязь физики и скульптуры прослеживается по ряду линий: материалы и их свойства; способы, методы, приёмы обработки материалов; инструменты и приспособления скульптора; технологии создания скульптуры; механика и скульптура (прочность, устойчивость); история создания и особенности известных скульптурных произведений.

Физика позволяет выяснить особенности материалов, используемых скульптором, оценить различные способы их обработки, научно объяснить особенности технологий, специфику и назначение инструментов и приспособлений, причины изменений в объектах с течением времени, определить условия их безопасного существования.

Физика и литература. Художественная литература, особым образом отражая действительность, является своеобразным источником знаний о науке: единстве мира, многообразии его проявлений, путей познания мира; роли и значения науки; взаимосвязи науки, техники и культуры, науки и искусства; достижениях и основных направлениях науки сегодняшнего дня; возможных технических приложениях физики; физических явлениях и процессах в природе и изучаемых в лабораторных условиях. Литературные произведения знакомят читателей с историей науки и техники, дают яркие и глубокие портреты учёных, инженеров, деятелей культуры.

Физика и изобразительное искусство. При рассмотрении изобразительного искусства с позиций науки можно выделить ряд аспектов: материалы, создание произведений (техники, технологии, инструменты, приборы); анализ произведений; сопоставление (взаимосвязь) художественных стилей и течений со спецификой и особенностями науки конкретной эпохи. Взаимосвязи физики и изобразительного искусства глубоки и разнообразны: свойства и особенности материалов (основы, лаки, краски); процесс создания произведений; наука и природные явления на полотнах художников, отражение фактов и событий из жизни науки; наука и особенности изображения предметов, явлений (пространственные построения, световое и цветовое решение, симметрия, композиционные особенности, движение, неоднозначность и т. п.).

Методы исследования. Сотрудничество между представителями естественнонаучного знания и гуманитариями стало широким и многоплановым благодаря возможностям, заложенным в богатейшем арсенале средств современной науки. Особый интерес представляют вопросы привлечения физики к изучению и сохранению материальных объектов культуры, так как они не только «продукты» деятельности людей в различные исторические эпохи, но и физические объекты, которые могут изучаться с точки зрения их физических свойств. Сегодня физические методы – обязательные методы исследования в археологии, искусствоведении, без них нельзя представить работу реставраторов, они помогают историкам и криминалистам уточнять факты и события, открывать тайны, которые долгое время не были разгаданы.

Физические методы исследования основаны на особенностях электромагнитного излучения и взаимодействия его с веществом, специфических свойствах вещества: механических, электрических, магнитных, оптических. Широкое практическое применение сегодня находят методы молекулярной спектроскопии, лазерные методы, масс-спектрометрия, нейтронография, люминесцентный анализ и т. п. Все области физики (механика, молекулярная физика, электродинамика, оптика, атомная и ядерная физика) вносят свой вклад в дело исследования, сохранения, консервации, реставрации материальных объектов культуры.

Анализ литературы по физике, искусствоведению, истории науки и культуры [2; 3; 6; 31 и т. д.] позволил нам выявить основные направления привлечения физики к гуманитарным исследованиям:

- поиски памятников истории и культуры;
- датирование археологических находок, памятников культуры;
- проверка подлинности памятников и других материальных объектов культуры, идентификация объектов;
- исследование техники создания произведений искусства;
- изучение надписей и текстов;
- выявление особенностей материальных объектов культуры (происхождение, состав, внутреннее строение, сохранность, влияние различных условий и т. д.);
- изучение древних производств и технологий;
- нумизматика;
- возрождение древних рукописей;
- уточнение фактов истории;
- выявление особенностей культурного слоя некоторых территорий;
- реставрация и консервация материальных объектов культуры, памятников истории и культуры.

Естественнонаучные методы, применяемые в области археологии, искусствоведения, истории весьма разнообразны. Они могут быть классифицированы по различным основаниям: по широте использования, по областям научного знания (физика, химия, биология), по назначению. Значительная часть естественнонаучных методов – это физические методы. По назначению методы исследования (технико-технологические методы), основу которых составляет физика, могут быть объединены в ряд групп:

1. Методы поиска и обнаружения объектов.

2. Методы датирования (определения возраста).
3. Методы изучения объектов, выявления их особенностей (внешний вид, внутреннее строение, подлинность, сохранность и т. п.). Здесь можно вести речь о методах исследования состава и структуры вещества, физико-оптических методах.
4. Методы, обеспечивающие сохранность объектов, проведение консервации и реставрационных работ.

Перечислим основные методы.

К методам поисковых работ, с помощью которых обнаруживаются скрытые от глаза исследователя материальные объекты и культуры памятники культуры, относятся: акустические методы, аэрофотосъёмка, гравиметрия, магнитная съёмка, электромагнитное зондирование, метод сопротивлений.

Методы датирования: палеомагнитное датирование, археомагнетизм, ядерно-физические методы датирования (калий-аргоновое датирование, датирование по трекам спонтанного деления урана, радиоуглеродный метод).

Физико-оптические методы: исследования объектов в различных участках спектра электромагнитного излучения (видимое, ультрафиолетовое, инфракрасное), микроскопические исследования, исследования в поляризованном свете, рентгенографические исследования, голографические методы, методы преобразования изображений из одной области спектра в другую, методы усиления яркости изображений, методы определения оптических характеристик пигментов и другие.

Методы определения состава и структуры вещества: резонансные методы (ЯМР, ЭПР), масс-спектрометрия, электронная микроскопия, хроматография, металлографический анализ, калориметрия, электрохимические методы, ядерно-физические методы (нейтронно-активационный, гамма-активационный, нейтронная радиография, спектральные методы и т. п.).

Необходимость сохранения богатейшего культурного наследия привела к союзу учёных и искусствоведов. Они ищут пути и средства сохранения материальных объектов культуры, консервации памятников культуры, создания оптимальных условий для хранения и экспонирования произведений искусства, исторических находок, разнообразных памятников культуры. К сохранению материальных объектов культуры физика привлекается достаточно широко. Определим основное:

– Агрессивные факторы среды, влияющие на материальные объекты (световое и тепловое излучение, влажность, звуковое и вибрационное воздействие, загрязнения). Изменения, происходящие с произведениями искусства, материальными памятниками культуры с течением времени. Причины изменений, возможности минимизации вредного воздействия окружающей среды.

– Музеи и выставочные залы. Музейный климат (экспонирование в музеях и выставочных залах, хранение экспонатов, температурно-влажностный режим, световое решение).

– Памятники на открытом воздухе, сохранность памятников.

– Консервация и реставрация (технологии, материалы, инструменты).

– Приборы и устройства для определения состояния материальных объектов, контроля условий хранения и экспонирования произведений искусства, материальных памятников культуры.

История науки. Особо значимым для понимания взаимосвязи науки и культуры является история науки [10; 14; 15; 17; 24; 25 и т. д.). С. Р. Микулинский в послесловии к книге Дж. Холтона «Тематический анализ науки» отмечает следующее: «В настоящее время всё яснее становится, что история науки – это мост, связывающий естественные и технические знания с гуманитарным знанием, средство раскрытия и анализа связи науки с общей культурой. Этот мост, правда, ещё не выстроен и не открыт для регулярного движения» [29, с. 370].

На материале истории науки удаётся достаточно полно и разносторонне представить науку в контексте культуры.

– Проследить направления и линии взаимосвязи науки и культуры на всем протяжении истории человечества и в отдельные значительные промежутки времени (эпохи, столетия, конкретные этапы развития науки).

– Раскрыть специфику отдельных исторических периодов с точки зрения единства науки и культуры.

– Выявить традиции и тенденции процессов взаимодействия науки и культуры на всем протяжении развития науки и культуры и в отдельные исторические периоды.

– Раскрыть культурное единство эпохи.

– Подтвердить социокультурное значение науки.

- Показать влияние культурных традиций на развитие науки в отдельных странах и регионах мира.
- Выявить общекультурные корни основных научных открытий.
- Детализировать отдельные стороны, аспекты, линии взаимосвязи науки и культуры; отдельные моменты истории, факты и события, отражающие взаимосвязь науки и культуры.
- Раскрыть эволюцию взглядов на мир и его познание. Представить научные революции как точки бифуркации в становлении системы науки. Раскрыть содержание научных картин мира, показать их развитие в контексте культуры.
- Выявить этапы и закономерности становления и развития науки, значение традиций, роль научных школ.
- Представить научное наследие как наследие мировой культуры, раскрыть значимость памятников науки для культуры в целом.
- Раскрыть влияние научной деятельности учёных на процессы понимания мира и развития науки и культуры.
- Представить учёного как «образ», «отражение» культуры соответствующей эпохи.
- Выявить уникальность творческой личности величайших представителей науки и культуры, определить их вклад в развитие науки и культуры.
- Продемонстрировать диалог культур.

Сделаем ряд замечаний по поводу диалога, так как именно данный аспект наиболее ярко отражает единство культуры.

Диалог культур многопланов:

- Диалог эпох или «фундаментальные споры эпох» – переключки эпох при рассмотрении эволюции конкретных идей, понятий, теорий и т. п. Имеется в виду трактовка основных идей и понятий культуры в различные эпохи (понятия: пространство, время, материя, взаимодействие и т. д.; идея близкодействия и другие).
- Диалог науки и искусства в жизни и творчестве учёных (Л. Больцман, В. И. Вернадский, П. Л. Капица, А. Эйнштейн и др.).
- Диалог науки и культуры – рассмотрение культуры определённой эпохи в единстве и целостности (наука, техника, искусство).
- Диалог науки и искусства в рамках определённой эпохи (физика и живопись конца XIX – начала XX веков; наука и искусство серебряного века; электродинамическая картина мира и западноевропейское искусство и т. п.).
- Диалог научного и художественного взгляда на мир – учёные и представители художественной культуры (А. Эйнштейн – Ф. Достоевский, А. Эйнштейн – П. Сезанн, П. Шеллинг – А. С. Пушкин, Д. Ф. Араго – Наполеон, Дж. К. Максвелл – П. И. Чайковский или Р. Вагнер, Дж. К. Максвелл – Э. Дега или К. Моне и т. д.).
- Диалог ученых разных эпох – сопоставление творчества ученых (Г. Галилей – И. Ньютон, А. Эйнштейн – Р. Декарт т. п.).
- Внутренний диалог научного и художественного познания в творчестве ученых – взаимодействие и взаимосвязь культур в творчестве учёных («двойная спираль творчества»): М. В. Ломоносов – «поэт в науке», «учёный в поэзии», С. Морзе – наука, техника, живопись, А. Б. Мигдал – физика, скульптура, ювелирное искусство, Д. И. Блохинцев – физика, живопись, Э. Шредингер – физика, поэзия, Л. Термен - радиотехника, музыка, В. Гейзенберг – физика, проблемы взаимосвязи науки и культуры, Б. В. Раушенбах – физика, математика, исследование произведений живописи (перспектива) и т. п.
- Диалог науки и искусства в творчестве представителей художественной культуры (Леонардо да Винчи, А. Дюрер, И.-В. Гёте, А. Белый, В. Брюсов, Д. Гранин, В. Шефнер и др.).

Физика. Общекультурная составляющая физики. Физика играет значительную роль в становлении культуры, занимает особое место в современной культуре, что связано со спецификой физики как науки, возможностью её приложений в различных областях человеческой деятельности, богатейшей историей, великими личностями, оказавшими влияние на ход истории человечества, становление современной науки и культуры в целом.

Сформулируем ряд утверждений, обосновывающих особую роль и значение физики в современной культуре.

- Физика как наука (специфическая познавательная деятельность) определённым образом связана с духовной (художественной и научной) и материальной культурой. Её достижения во многом

определяют современную культурную ситуацию.

– История физики демонстрирует яркие примеры взаимосвязи и взаимообусловленности науки и культуры: общекультурные корни основных научных открытий, влияние культурных традиций на творчество ученых, взаимоотношения науки и искусства в различные исторические эпохи и т. д. В качестве иллюстрации приведем высказывание И. Пригожина: «Время – фундаментальное измерение нашего бытия. Веками оно пленяло воображение художников, философов, ученых. Включение времени в концептуальную систему галилеевой физики ознаменовало рождение новой науки» [20, с. 4].

«“Пересмотр“ понятия времени (имеется в виду отход от вневременного подхода к описанию явлений – „стрела времени“) – неотъемлемая составная часть грандиозной революции, происходящей в современной культуре» [20, с. 20].

– Научные знания как духовные ценности принадлежат культуре. Физические понятия постоянно входят в описание объектов культуры как создаваемые сегодня, так и в описание исторических памятников.

– Стиль мышления, тип научной рациональности рассматриваются как ценность культуры. На основе достижений XX в. формируется постнеклассический тип научной рациональности.

– Существенный вклад в развитие синергетики, становление эволюционно-синергетического подхода вносит современная физика.

– Физика демонстрирует возможность применения эстетических критериев как к процессу научного познания, так и к его результатам.

– Физика оказывает влияние на различные сферы и области человеческой деятельности через использование результатов научной деятельности и физических методов исследования.

– Физика имеет с искусством особые взаимоотношения, определяющие процесс создания произведений, их анализ; появление новых видов искусства, модернизацию традиционных. Можно вести речь о физических основах различных видов искусства, соотношении художественных стилей и определенного уровня развития науки.

– Значительна роль физики в исследовании материальных памятников культуры, культурного наследия, сохранении культурного наследия.

– Крупнейшие учёные-физики а) уделяли внимание проблемам взаимосвязи науки и культуры (выступления, статьи, специальные исследования); б) демонстрировали понимание проблем взаимодействия науки и культуры (В.И. Вернадский, В. Гейзенберг, Р. Опенгеймер, Н. А. Умов, Э. Шредингер и др.); в) проявляли интерес к искусству; г) занимались художественным творчеством; д) внесли значительный вклад в культуру в результате научной деятельности (Г. Галилей, И. Ньютон, А. Эйнштейн, Н. Бор и др.).

– Достижения физики и возможности её приложений в сфере культуры подтверждают единство и взаимосвязь естественнонаучной и гуманитарной культуры. Взаимоотношения физики и культуры демонстрируют «диалог культур», возникновение нового на границах культур (при переходе от одной культуры к другой), значимость этих границ для осознания специфики каждой из культур.

В заключение выделим общекультурную составляющую физики, конкретизировав представленные ранее содержательные основы взаимосвязи науки и культуры и содержательные элементы, определяющие общекультурную составляющую науки.

ОБЩЕКУЛЬТУРНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ФИЗИКИ

1. Физика. Естественнонаучная и гуманитарная культура.

2. Физика в современном мире. Достижения науки и развитие культуры. Взаимосвязь науки и культуры.

3. Фундаментальные физические понятия как основные категории культуры (материя, пространство, время, движение, взаимодействие).

4. Физика и система взглядов на мир и его познание: идеи, подходы, принципы (причинности, дополненности, соответствия, симметрии и др.).

5. Познавательная деятельность. Методы познания. Научная рациональность. Классический и неклассический тип научной рациональности.

6. Эволюционно-синергетическая парадигма как основа исследования явлений и процессов в различных научных сферах; синергетика как особый объект изучения – открытые диссипативные системы и физика.

7. Научная картина мира и культура. Физические картины мира.

8. Научные революции в контексте культуры. Физика и смена научных картин мира.

9. Физические методы исследования и их использование в различных научных сферах и областях человеческой деятельности.

10. Физика, техника и эстетика. Эстетические критерии процесса научного познания и его результатов.

11. Научное и художественное познание. Наука и искусство. Физика и искусство.

12. Физика в различных видах искусства.

13. Физика и создание произведений искусства.

14. Современные достижения науки (физики) и их использование в искусстве.

15. Симметрия в природе, науке и искусстве.

16. Природа в зеркале науки и искусства.

17. История физики как элемент истории науки и культуры.

18. Общекультурные корни основных открытий в физике.

19. Научное наследие (труды учёных-физиков, экспериментальные установки, приборы, устройства, фундаментальный физический эксперимент) как феномен культуры.

20. Памятники науки и техники (письменные источники, документы приборы, установки, конструкции, сооружения).

21. Исследование и сохранение культурного наследия, материальных памятников культуры, произведений искусства. Физические методы исследования.

22. Физика, музеи и выставочные залы. Обеспечение благоприятного музейного климата.

23. Великие учёные, деятели культуры. Жизнь и творчество в культуре определённой эпохи. Уникальность творчества. Вклад в науку и культуру.

24. Диалог науки и культуры, научного и художественного творчества.

25. Влияние творчества учёных на процессы познания мира и культуру в целом.

Подведем итог. Физика – наука, изучающая глубинные основы мироздания, разрабатывающая уточнённые методы и средства познания, опирающаяся на математику и разработки сложнейшей приборной базы. Физика – одна из наиболее развитых областей научного знания, теснейшим образом связанная с другими естественными науками. Она имеет важнейшее значение в миропонимании, развитии мировоззрения и интеллекта человека, его способностей и возможностей, оказывает влияние на процесс научного познания в целом, на всю современную культуру. Физика, являясь одной из ведущих наук современности, демонстрирует возможности интегративного подхода к познанию и освоению мира, возможности единения естественнонаучного и гуманитарного знания, возможности представления науки как элемента культуры в единстве и взаимосвязи с другими элементами культуры и культурой в целом. Физика – ядро современного естествознания, ей принадлежит ведущая роль в создании технологического базиса современной цивилизации, решении экологических проблем и ряда других глобальных проблем.

Физика широким фронтом проникает в гуманитарную сферу: физические методы исследования используются историками, археологами искусствоведами; физика активно включается в решение проблем изучения и сохранения произведений искусства, материальных памятников культуры; физика в значительной мере способствует созданию благоприятного музейного климата: знание физических законов, физико-химических свойств и характеристик различных материалов помогает художникам, скульпторам, архитекторам создавать произведения искусства, подбирать соответствующие материалы для реализации своих замыслов; успехи и достижения современной науки обеспечивают совершенствование и модернизацию традиционных видов искусства, создание новых.

Влияние физики на культуру связано не только с открытиями в науке, обеспечивающими технико-технологические приложения науки во всех сферах человеческой деятельности. Оно связано еще и с тем, что физика даёт понимание устройства мира, определяя важнейшие категории культуры (материя, пространство, время, движение, причинность и др.), формулируя идеи, принципы, подходы (идея близкодействия, эволюционно-синергетический подход, принцип соответствия, дополненности, симметрии и т. п.), уточняя и конкретизируя типы научной рациональности, стиль мышления.

Развитие физики во взаимосвязи и взаимодействии с культурой подтверждает единство и целостность культуры, демонстрирует роль и значение науки в системе культуры.

Список литературы

1. Бордонская Л. А. Отражение взаимосвязи науки и культуры в школьном физическом образовании и подготовке учителя физики. Чита: ЗабГПУ, 2002. 231 с.

2. Ваганов П. А. Физики дописывают историю. Л.: Ленингр. ун-т, 1984. 216 с.
3. Вагнер Г. Научные методы датирования в геологии, археологии и истории. М.: Техносфера, 2006. 575 с.
4. Волошинов А. В. Математика и искусство. М.: Просвещение, 1992. 335 с.
5. Глазычев В. Л. Гемма Коперника. Мир науки в изобразительном искусстве. М.: Советский художник, 1989. 416 с.
6. Гренберг Ю. И. Технология станковой живописи. История и исследование. М.: Изобразительное искусство, 1982. 320 с.
7. Евин И. А. Что такое искусство с точки зрения физики? М.: Воениздат, 2000. 144 с.
8. Злобин Н. С. Культурные смыслы науки. М.: ОЛМА-ПРЕСС, 1997. 288 с.
9. Искусство и точные науки. М.: Наука, 1979. 296 с.
10. Каган М. С. Философия культуры. СПб.: Петрополис, 1996. 416 с.
11. Кальоти Дж. От восприятия к мысли. О динамике неоднозначного и нарушениях симметрии в науке и искусстве. М.: Мир, 1998. 221 с.
12. Койре А. Очерки истории философской мысли. О влиянии философских концепций на развитие научных теорий. М.: Прогресс, 1985. 286 с.
13. Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики. Человек, конструирующий себя и свое будущее. М.: КомКнига, 2007. 232 с.
14. Косарева Л. М. Рождение науки нового времени из духа культуры. М.: Институт психологии РАН, 1997. 360 с.
15. Маркарян Э. С. Теория культуры и современная наука: логико-методологический анализ. М.: Мысль, 1983. 284 с.
16. Мороз О. П. Прекрасна ли истина? М.: Знание, 1989. 208 с.
17. Наука и культура / отв. ред. В. Ж. Келле. М.: Наука, 1984. 336 с.
18. Оппенгеймер Р. Наука и культура // Наука и человечество. Т. 3. Знание, 1964. С. 52–65.
19. Пенкин М. С. Искусство и наука: проблемы, парадоксы, поиски. М.: Наука, 1978. 302 с.
20. Пригожин И., Стенгерс И. Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 240 с.
21. Раушенбах Б. В. Геометрия картины и зрительное восприятие. СПб.: Азбука классика, 2001. 320 с.
22. Степин В. С., Кузнецова Л. Ф. Научная картина мира в культуре техногенной цивилизации. М.: ИФ РАН, 1994. 274 с.
23. Сухотин А. К. Ритмы и алгоритмы. М.: Мол. гвардия, 1988. 223 с.
24. Теория познания и современная физика / отв. ред. Ю. В. Сачков. М.: Наука, 1984. 336 с.
25. Томсон Г. Музейный климат. СПб.: Скифия, 2005. 288 с.
26. Умов Н. А. Культурная роль физических наук. (Речь, произнесённая при открытии Московского общества изучения и распространения физических знаний 12.11.1912 г.) / отдельный оттиск из журнала Моск. мат. кружка «Математическое образование». М., 1913. 9 с.
27. Фейнберг Е. Л. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. М.: Наука, 1992. 251 с.
28. Физика в системе культуры. М.: ИФРАН, 1996. 231 с.
29. Холтон Дж. Тематический анализ науки / пер. с англ.; общ. ред. и послесловие С. Р. Микулинского. М.: Прогресс, 1981. 383 с.

30. Шубников А. В., Копчик В. А. Симметрия в науке и искусстве. М.: Наука, 1972. 339 с.
31. Эйткин М. Дж. Физика и археология. М.: ИЛ, 1963. 257 с.
32. Rabi I. I. Science: the center of culture. The World Publishing Company. New York and Cleveland, 1970. 150 p.
33. Shimonyi K. Kulturgeschichte der Physik. Budapest: Akademiai, Kiado. 1990. 576 p.

References

1. Bordonskaja L. A. Otrazhenie vzaimosvjazi nauki i kul'tury v shkol'nom fizicheskom obrazovanii i podgotovke uchitelja fiziki. Chita: ZabGPU, 2002. 231 s.
2. Vaganov P. A. Fiziki dopisyvajut istoriju. L.: Leningr. un-t, 1984. 216 s.
3. Vagner G. Nauchnye metody datirovanija v geologii, arheologii i istorii. M.: Tehnosfera, 2006. 575 s.
4. Voloshinov A. V. Matematika i iskusstvo. M.: Prosveshhenie, 1992. 335 s.
5. Glazychev V. L. Gemma Kopernika. Mir nauki v izobrazitel'nom iskusstve. M.: Sovetskij hudozhnik, 1989. 416 s.
6. Grenberg Ju. I. Tehnologija stankovoj zhivopisi. Istorija i issledovanie. M.: Izobrazitel'noe iskusstvo, 1982. 320 s.
7. Evin I. A. Chto takoe iskusstvo s tochki zrenija fiziki? M.: Voenizdat, 2000. 144 s.
8. Zlobin N. S. Kul'turnye smysly nauki. M.: OLMA-PRESS, 1997. 288 s.
9. Iskusstvo i tochnye nauki. M.: Nauka, 1979. 296 s.
10. Kagan M. S. Filosofija kul'tury. SPb.: Petropolis, 1996. 416 s.
11. Kal'oti Dzh. Ot vosprijatija k mysli. O dinamike neodnoznachnogo i narushenijah simmetrii v nauke i iskusstve. M.: Mir, 1998. 221 s.
12. Kojre A. Oчерки истории философской мысли. O vlijanii filosofskih koncepcij na razvitie nauchnyh teorij. M.: Progress, 1985. 286 s.
13. Knjazeva E. N., Kurdjumov S. P. Osnovaniya sinergetiki. Chelovek, konstruirujushhij sebja i svoje budushhee. M.: KomKniga, 2007. 232 s.
14. Kosareva L. M. Rozhdenie nauki novogo vremeni iz duha kul'tury. M.: Institut psihologii RAN, 1997. 360 s.
15. Markarjan Je. S. Teorija kul'tury i sovremennaja nauka: (logiko-metodologicheskij analiz). M.: Mysl', 1983. 284 s.
16. Moroz O. P. Prekrasna li istina? M.: Znanie, 1989. 208 s.
17. Nauka i kul'tura / otv. red. V. Zh. Kelle. M.: Nauka, 1984. 336 s.
18. Oppengejmer R. Nauka i kul'tura // Nauka i chelovechestvo. T. 3. Znanie, 1964. S. 52–65.
19. Penkin M. S. Iskusstvo i nauka: problemy, paradoksy, poiski. M.: Nauka, 1978. 302 s.
20. Prigozhin I., Stengers I. Vremja. Haos. Kvant. K resheniju paradoksa vremeni. M.: Jeditorial URSS, 2000. 240 s.
21. Raushenbah B. V. Geometrija kartiny i zritel'noe vosprijatie. SPb.: Azbuka klassika, 2001. 320 s.
22. Stepin V. S., Kuznecova L. F. Nauchnaja kartina mira v kul'ture tehnogennoj civilizacii. M.: IF RAN, 1994. 274 s.
23. Suhotin A. K. Ritmy i algoritmy. M.: Mol. gvardija, 1988. 223 s.
24. Teorija poznanija i sovremennaja fizika / otv. red. Ju. V. Sachkov. M.: Nauka, 1984. 336 s.

25. Tomson G. Muzejnyj klimat. SPb.: Skifija, 2005. 288 s.
26. Umov N. A. Kul'turnaja rol' fizicheskikh nauk. (Rech', proiznesennaja pri otkrytii Moskovskogo obshhestva izuchenija i rasprostraneniya fizicheskikh znaniy 12.11.1912g.) / ot del'nyj ottisk iz zhurnala Mosk. mat. kruzhka «Matematicheskoe obrazovanie». M., 1913. 9 s.
27. Fejnberg E. L. Dve kul'tury. Intuicija i logika v iskusstve i nauke. M.: Nauka, 1992. 251 s.
28. Fizika v sisteme kul'tury. M.: IFRAN, 1996. 231 s.
29. Holton Dzh. Tematicheskij analiz nauki / per. s angl. ; obshh.red. i posleslovie S. R. Mikulinskogo. M.: Progress, 1981. 383 s.
30. Shubnikov A. V., Kopcik V. A. Simmetrija v nauke i iskusstve. M.: Nauka, 1972. 339 s.
31. Jejtkin M. Dzh. Fizika i arheologija. M.: IL, 1963. 257 s.
32. Rabi I. I. Science: the center of culture. The World Publishing Company. New York and Cleveland, 1970. 150 p.
33. Shimonyi K. Kulturgeschichterder Physik. Budapest: Akademiai, Kiado. 1990. 576 p.

Статья поступила в редакцию 28.05.2014

УДК 771.355.32
ББК 24.123

*Светлана Станиславовна Серебрякова,
кандидат педагогических наук, доцент,
Забайкальский государственный университет
(672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30)
e-mail: ssszspu@rambler.ru*

Галилео Галилей: истина сквозь линзы телескопа (к 450-летию со дня рождения учёного и 405-летию начала эры телескопической астрономии)

В статье раскрываются основные этапы жизни и деятельности выдающегося итальянского учёного Галилео Галилея; его научные достижения в области механики и создания естественно-научного метода познания; значение его творчества для развития науки и культуры в целом.

Результаты телескопических наблюдений Галилео (горы на Луне, спутники Юпитера, пятна на Солнце, фазы Венеры и др.), проведённых им в 1609–1610 гг., коренным образом изменили существовавшие в то время представления об устройстве мира и утвердили правоту гелиоцентрической системы мира Николая Коперника. Галилео Галилея по праву считают основоположником экспериментального естествознания. Он полагал, что наука должна опираться только на эксперимент как источник и главный критерий истинности научных знаний. Введя в науку эксперимент и математизацию теоретических знаний, Галилей заложил основы новых представлений о движении. Учёный опроверг мнение о том, что скорость падения тел пропорциональна их весу; установил закон движения при падении тел; выявил свойство тел сохранять свою скорость; сформулировал принцип относительности; установил, что действие является причиной изменения скорости движения тела и др.

Ключевые слова: Галилео Галилей, телескопические наблюдения, гелиоцентрическая система мира, механическое движение, научный метод.

*Svetlana Stanislavovna Serebryakova,
Candidate of Pedagogy, Associate Professor,
Transbaikal State University
(30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, Russia, 672039)
e-mail: ssszspu@rambler.ru*

Galileo Galilei: Truth through Telescope Lenses (Commemorating the 450th Anniversary of the Birth of Galileo Galilei and the 405th Anniversary of Telescopic Astronomy Era)

The article presents the main stages in life and activity of the prominent Italian scientist Galileo Galilei, his scientific achievements in the fields of mechanics and creation of natural science cognition method, meaning of his creative work for the development of science and culture on the whole.

The results of Galileo's telescopic observations (mountains on the Moon, Jupiter's satellites, spots on the Sun, phases of Venus) made in 1609–1610 drastically changed the existing views on the world structure and advocated Nicolas Copernicus's heliocentric system. Galileo Galilei is really considered to be the initiator of natural experimental studies. He believed that science has to rely only on experiment as a source and the main criterion of scientific knowledge validity. Having introduced the experiment and mathematization of theoretic knowledge, Galilei laid the foundations for the new ideas about motion. The scientist disproved that the terminal velocity of a falling object was proportional to its weight, discovered the law of motion of falling bodies, revealed the property of bodies to keep their velocity, formulated the principle of relativity, and established that action was the reason for change in velocity of the body motion, etc.

Keywords: Galileo Galilei, telescopic observations, heliocentric world system, mechanical motion, scientific method.

Открытие, сделанное Галилеем, и применение им методов научного рассуждения были одним из самых важных достижений в истории человеческой мысли, и оно отмечает действительное начало физики. Это открытие учит нас тому, что интуитивным выводам, базирующимся на непосредственном наблюдении, не всегда можно доверять, так как они иногда ведут по ложному следу

А. Эйнштейн, Л. Инфельд [10, с. 14]

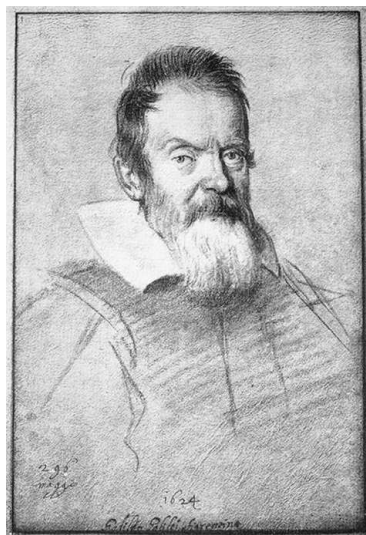


Рис. 1. Портрет Галилео Галилея работы Оттавио Леони

2014 год – особый год в истории астрономии и науки в целом. В этом году исполнилось 450 лет со дня рождения выдающегося итальянского учёного Галилео Галилея (15 февраля 1564 – 8 января 1642) и 405 лет со дня первого использования в истории человечества телескопа – изобретения, положившего начало периоду удивительных астрономических открытий. Именно Галилео Галилей четырёхста пять лет назад, в 1609 г., начал первый обзор неба при помощи телескопа.

Существует достаточное количество историко-научных исследований, посвящённых жизни и творчеству Галилео Галилея, в которых раскрываются основные этапы жизни учёного, значение его научного творчества в развитии науки и культуры в целом. Опираясь на материалы источников [1–10] кратко раскроем основные научные достижения и вехи биографии великого учёного.

Галилео Галилей родился 15 февраля 1564 г. в старинном итальянском городке Пизе. Его отец, человек обширных знаний, автор трудов по истории и теории музыки хотел, чтобы Галилей стал врачом, и поэтому отдал его на учёбу в Пизанский университет. Однако медицина не привлекала Галилея, с гораздо большим увлечением он читал геометрические трактаты Евклида и труды по механике Архимеда. В конце концов, Галилей оставил университет и занялся точными науками.

Большую роль в формировании пытливого, склонного к широкому мышлению характера Галилея, сыграла сама атмосфера Пизы. Город входил в состав Великого герцогства Тосканского, ставшего одним из центров итальянского Возрождения. Именно там сформировался гуманизм – мировоззрение, во главу угла ставящее права человека на свободу мысли, суждений и критических воззрений, а также на свободу от налагаемых церковью ограничений. Впоследствии Галилей станет известен как величайший учёный, широко образованный человек, прекрасный собеседник, непобедимый в споре, а кроме того, как писатель и музыкант. Он превосходно играл на струнных инструментах и клавинодах, с успехом занимался рисованием и живописью, писал сонеты. Галилео Галилея по праву считают основоположником экспериментального естествознания. В отличие от подавляющего большинства современников, он полагал, что наука должна опираться только на эксперимент как источник и главный критерий истинности научных знаний.

В 1583 г. Галилео, слушая церковную службу, обратил внимание на то, как раскачивался вперёд и назад свисавший с потолка светильник. Отсчитывая по ударам своего пульса время, за которое лампа совершала полное колебание, Галилей заметил, что этот маятник всегда возвращается в исходное положение за одно и то же время. Экспериментируя, учёный обнаружил изохронность колебаний маятника (независимость периода колебаний от их амплитуды), а также обнаружил, что периоды колебаний маятника соотносятся как квадратные корни его длины. Результаты Галилея привлекли внимание Х. Гюйгенса (1629–1695), который изобрел часы с маятниковым регулятором (1657); с этого момента появилась возможность точных измерений в экспериментальной физике.

В 1586 г. Галилео написал и опубликовал свой первый серьёзный и законченный трактат «Маленькие весы», посвящённый методике точного взвешивания тел в воздушной и водной среде (гидростатические весы). Трактат, написанный в очень популярной в то время сатирической манере, привлек внимание многих учёных, что стало для Галилео первым шагом на пути к признанию и славе.

Ещё в Пизе Галилей на опыте опроверг учение перипатетиков (последователей Аристотеля)

о том, что тяжёлые тела падают быстрее, чем лёгкие или что скорость падения тел пропорциональна весу тел. Для этого он скатывал медные шары по наклонным плоскостям, обладавшим минимальным трением, и даже, по легенде, сбрасывал с наклонной Пизанской башни различные предметы. Так, сброшенные шары, чугунный и деревянный, одинакового размера, достигали Земли практически одновременно, небольшое различие во времени падения Галилей с полным основанием приписывал сопротивлению воздуха. Свои открытия ученый проанализировал в книге «О движении» (1590). Эти опыты имели огромное методологическое значение. Эксперименты с падением тел проводились и до Галилея, но только он при их постановке сумел отвлечься от множества несущественных обстоятельств: температуры и химического состава бросаемых тел, состояния погоды и т. п. Галилей, в отличие, например, от Леонардо да Винчи, брал тела одинаковой формы и одинакового размера, чтобы сосредоточить внимание на главном - независимости скорости падения тел от силы тяжести – и добился успеха. История физики свидетельствует о том, что только при такой постановке эксперимента его результаты являются достоверными. Галилей был первым учёным, который понял это и осуществил на практике. По существу, это было началом экспериментальной физики.

Продолжая свои исследования в области механики и движения, Галилей также занимался разработкой различных физических приборов. Среди них был самый первый в мире термометр (термоскоп Галилея) и приспособления для выкачивания воды из подземных скважин. В 1596 году Галилей создал улучшенную модель пропорционального геометрического циркуля, оказавшегося очень полезным в артиллерии для более точного прицеливания. Этот циркуль можно было использовать также для вычисления высоты звёзд над горизонтом и измерения угла наклона стен.

В Падуе Галилей провёл 18 лет, с 1592 по 1610 гг., сделав ряд важнейших открытий, принесших ему мировую славу. Именно здесь началась борьба учёного за утверждение теории Коперника, в справедливость которой он уверовал еще в Пизе. В 1597 г. Галилей писал: *«К мнению Коперника я пришёл много лет назад и, исходя из него, нашёл причины многих явлений природы, далеко необъяснимых с помощью обычных гипотез. Написал многие соображения и опровержения противных аргументов, которые, впрочем, опубликовать не решился, утраченный судьбой учителя нашего Коперника. У немногих стяжал он бессмертную славу и бесчисленным множеством – ибо таково число глупцов – осмеян и освистан»* [Цит. по: 7, с. 41].

Астрономия как таковая долгое время не входила в круг интересов Галилео, в котором первое место занимали опыты по механике. В октябре 1604 г. произошло очень интересное астрономическое событие, поразившее Галилея и его современников. На ночном небе появилась таинственная звезда. Она разгоралась всё ярче, пока не стала видимой даже днем. В небесных глубинах зажглась сверхновая звезда SN 1604. Это случилось в правой нижней части созвездия Змееносец. Первым её обнаружил астроном Иоганн Кеплер (1571–1630), и поэтому звезду называли его именем. Это пробудило всеобщий интерес к астрономии, и Галилей выступил с циклом лекций. Сверхновая звезда SN 1604 наряду со сверхновой SN 1572 имели большое значение в развитии астрономии в Европе, так как были использованы в качестве аргумента против аристотелевской идеи, гласившей, что мир за пределами Луны и Солнечной системы неизменен.

Вскоре произошли события, определившие всю дальнейшую судьбу учёного. В июле 1609 г. он узнал о том, что голландский оптик Ханс Липперхей (1570–1619) изобрёл инструмент, позволявший рассматривать предметы на расстоянии. *«Месяцев десять тому назад, – рассказывает Галилей об этих событиях, – до наших ушей дошёл слух, что некий нидерландец изготовил «перспективу», с помощью которой зримые предметы, хотя бы и значительно удаленные от глаза наблюдателя, могли быть отчётливо видимы как бы близкие...; это и послужило поводом к тому, что я целиком отдался такой задаче: найти основы устройства подобного инструмента и выяснить также, из каких материалов я мог бы построить его...»* [Цит. по: 5, с. 134]. Следует отметить, что название «телескоп» предложил в 1611 г. член Римской Академии Джованни Демизиани. Сам Галилей называл свою зрительную трубу либо *perspicillum* – «перспектива», либо *occhiale* – «подзорная труба». Галилей не был изобретателем подзорной трубы. Но задача самостоятельного конструирования и отделки нового прибора пришлась ему по душе. Продолжая совершенствовать конструкцию своего телескопа, Галилей постепенно добился 32-кратного увеличения.

Величайшей заслугой учёного является то, что он первым широко использовал подзорную трубу для астрономических целей. В конце 1609 – начале 1610 гг. Галилей впервые посмотрел на ночное небо вооружённым глазом. Даже скромного увеличения галилеевой трубы хватило, чтобы сделать несколько потрясающих открытий. Прежде всего, он направил свой телескоп на самое крупное тело

ночного неба – Луну. Галилей обнаружил, что поверхность Луны очень неровная. Как и на Земле, там есть горы и долины. Неожиданно была раскрыта тайна Млечного Пути. «...При помощи перспективы его можно настолько ощутительно наблюдать, что все споры, которые в течение стольких веков мучили философов, уничтожаются сами собой при наличии наглядной очевидности, да и мы освобождаемся от многословных диспутов. Действительно, Галактика является не чем иным, как собранием бесчётного множества звёзд, как бы расположенных кучами; в какую бы её область ни направить перспективу, сейчас же взгляду представляется громадное множество звёзд, из которых весьма многие достаточно ярки и вполне ясно различимы; количество же звёзд более слабых не допускает вообще никакого подсчёта...» [Цит. по: 5, с. 134]. Затем Галилей открывает 4 спутника Юпитера, которые он в честь великого герцога тосканского Козимо II Медичи называет «Медичейскими звёздами».

Галилей пишет восторженную книгу «Звездный вестник», в которой подробно рассказывает о результатах первых телескопических наблюдений. Изложенные в ней факты еще больше противоречили системе Птолемея, чем идеи Галилея относительно сверхновой. Новые открытия вызывают ожесточенную полемику. Большинство учёных, открыто или тайно, переходит в лагерь противников Галилея. «Трубы порождают иллюзии», «открытия Галилея являются оптическим обманом» – вот основные тезисы, которые повторяются на разных языках. Сам учёный потрясён не менее других, он имел возможность воочию убедиться в справедливости учения Коперника. Галилей продолжает вести наблюдения и делает не менее удивительные открытия.

Галилей обращает взор к самой далекой, или, в старинной терминологии, «высочайшей», из известных тогда планет – Сатурну. В свой несовершенный инструмент он не разглядел, что за странные пятна постоянно наблюдаются по обе стороны диска этой планеты. Галилей решил, что обнаружил два спутника Сатурна. «Я нашел, – пишет он в письме, – целый двор у Юпитера и двух прислужников у старика (Сатурна); они его поддерживают в шестви никогда не отскакивают от его боков» [Цит. по: 5, с. 135]. Как было принято в те времена, автор открытия опубликовал его в зашифрованном виде. Такой путь давал возможность, не торопясь, проверить наблюдения и в то же время сохранить свой приоритет. Галилей, следуя духу времени, предал гласности анаграмму, бессвязный набор 39 латинских букв, в котором две буквы были лишними:

Smiasmrmiepmepoetaleumibvnnenugttavis

Галилей не заставил публику ждать долго и вскоре огласил содержание зашифрованного сообщения. Его фразу следовало читать так:

Altissimumplanetamtergeminumobservavi

Высочайшую планету тройною наблюдал

То, что это были кольца Сатурна, спустя полстолетия открыл Христиан Гюйгенс. Далее Галилей замечает, что планета Венера «подражает» Луне: она меняет свой вид. Это служит решающим доказательством того, что Венера, в соответствии с взглядами Коперника, действительно обращается вокруг Солнца. Затем Галилей наряду с другими учёными наблюдает пятна на Солнце и понимает, что пятна являются частью солнечной структуры. Это предположение позволило учёному открыть вращение Солнца и вычислить его период.

Итак, Галилей не был изобретателем подзорной трубы, возможно, и не он первым посмотрел на Луну, Юпитер и Венеру, но он был первым, кто, благодаря настойчивости и проницательности ума, в полной мере понял, «разглядел» великое значение своих открытий (см. табл. 1).

Таким образом, результаты телескопических наблюдений Галилео коренным образом изменили существовавшие в то время представления об устройстве мира. Они противоречили господствовавшей в то время геоцентрической системе мира, принятой в качестве истины католической церковью. Твёрдо веривший в эксперимент и наблюдение, Галилей разрушил привычные тогда представления и подверг сомнению авторитет Священного писания по поводу идеальности небесных тел. Он правильно истолковал свои наблюдения и сделал вывод о том, что телескопические открытия раз и навсегда утверждают правоту гелиоцентрической системы мира Николая Коперника.

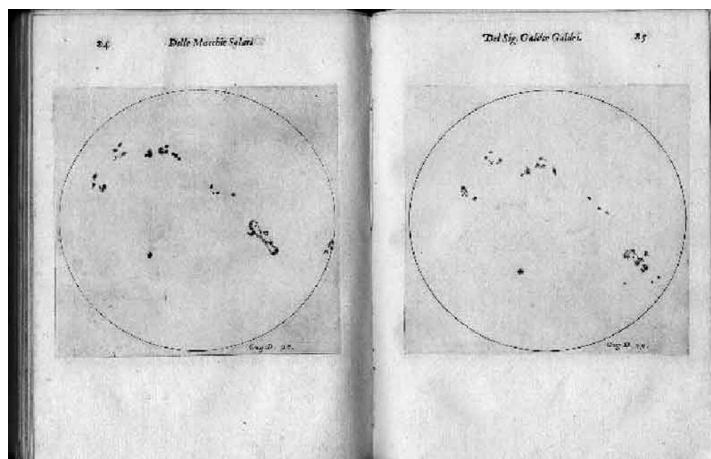


Рис. 2. Зарисовки, включённые в «Письма о солнечных пятнах» (1611)

Таблица 1

Телескопические наблюдения Галилео Галилея и их значение

№	Результаты первых телескопических наблюдений, проведённых Галилео Галилеем	Научное и мировое значение открытия
1	Шероховатая поверхность Луны	Противоречило идее противопоставления земного и небесного
2	Сложная структура Млечного Пути	Значительно расширяло представления человечества о размерах мира (Вселенной)
3	4 спутника Юпитера	Противоречило господствующему представлению о том, что только Земля может являться центром мира, и только вокруг неё могут обращаться небесные тела
4	Фазы Венеры	Противоречило принятой геоцентрической системе мира. Характер смены фаз у Венеры убедительно свидетельствовал о том, что Венера вращается вокруг Солнца
5	Пятна на Солнце	Противоречило идее противопоставления земного и небесного

Новые веяния в науке тревожили руководство католической церкви. Поэтому список запрещённых, еретических книг был пополнен, в него вошли сочинения Коперника и Кеплера. В 1616 г. Галилея вызывают в Рим, где ему было сделано устное внушение о недопустимости поддержки учения Коперника, которое признано противоречащим Священному Писанию. Однако критика Птолемея и Аристотеля формально запрещена не была. И Галилей этим воспользовался.

Несколько десятилетий своей жизни Галилей посвятил обоснованию учения Коперника – гелиоцентрической системы мира. Результатом этой работы стал обобщающий труд «Диалог о двух главнейших системах мира – Птолемеевой и Коперниковой», изданный в 1632 г. Галилей написал свой труд не на мёртвой латыни, как тогда было принято, а на живом итальянском языке, его книга была доступна не только учёным, но и любому грамотному человеку. «Диалог» Галилея по праву считают шедевром не только в отношении астрономии и физики, но и в отношении языка. А самого Галилея – основоположником итальянской прозы. На протяжении четырёх дней три человека – Сальвиати, Сагрето и Симпличио ведут спор об устройстве мира, приводя на этот счёт бесчисленные аргументы и контраргументы. Сальвиати и Сагрето – имена двух друзей Галилея, из которых первый выражает мысли самого автора, а второй ему сочувствует. Симпличио (по-итальянски «простак») – персонаж, отстаивающий точку зрения Аристотеля и Птолемея. Галилей стремится сохранить объективность, не делая никаких выводов, но содержание книги не оставляет ни малейшего сомнения, на чьей стороне автор.



DIALOGO
 DI
GALILEO GALILEI LINCEO
 MATEMATICO SOPRAORDINARIO
 DELLO STUDIO DI PISA.
 E Filosofo, e Matematico primario del
 SERENISSIMO
GR. DVCA DI TOSCANA.

Due ne i congressi di quattro giornate si difcorre
 sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
 TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
 tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*

CON PRI



VILEGI.

IN FIRENZA, Per Gio: Batista Landini MDCXXXII.

CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Рис. 3. Титульный лист «Диалога» Галилео Галилея

В течение первого дня дискуссия касается общих философских вопросов, рассматривается учение перипатетиков о противоположности земного и небесного, о достоверности познания и его источнике, о трёхмерности мира и т. д.

Беседа второго дня занимает центральное место в книге. В ней разбираются аргументы против учения о движении Земли, которое якобы должно отразиться на наблюдаемых нами явлениях, например, брошенный с башни камень должен упасть не к подножию башни, а в сторону, противоположную движению Земли, облака и птицы должны отставать от движущейся Земли и т. п. Для опровержения этих аргументов и потребовалась новая механика. Галилей делает новый шаг в выработке важнейшей идеи механики – представлении об инерции. Разбирая движение тела по наклонной плоскости, отвлекаясь от трения (плоскость и шар абсолютно твёрдые и гладкие), Сальвиати подводит своих собеседников к выводу, что шар, скатывающийся по плоскости ускоренно, будет подниматься по плоскости замедленно, если ему сообщить начальную скорость. «Теперь скажите, – продолжает обсуждение Сальвиати, – что будет с тем же телом на плоскости, которая ни вниз не опускается, ни вверх не поднимается?» Из ответов собеседников выясняется, что тело будет равномерно двигаться столько времени, «сколько хватит» такой плоскости. «Если, – подводит итог Сальвиати, – длина её будет бесконечна, то и движение будет продолжаться вечно» [Цит. по: 7, с. 44]. Галилей не нашел полной и точной формулировки закона инерции, он не смог оторваться от своей плоскости, не имеющей «ни спуска, ни подъема», и, отождествив эту плоскость с поверхностью шара, считал, что движение тела по такой идеальной сферической поверхности может продолжаться вечно. Тем не менее, Галилео Галилей в путанице земных движений выявил свойство тел сохранять свою скорость. Ядро, выпущенное из пушки, будет продолжать лететь, с заданной ему скоростью, одновременно падая на Землю.

Галилей совершенно правильно применил закон инерции в конкретных примерах и, что особенно важно, привлек этот закон к обоснованию системы Коперника. Шар, сброшенный с башни, продолжает двигаться вместе с башней и поэтому упадёт к её подножию. Птицы и облака продолжают двигаться вместе с Землей, как и атмосфера. Земля находится в постоянном движении, но мы, перемещаясь вместе с ней, этого не замечаем. Иллюстрируя это, Сальвиати приводит в качестве примера явления, происходящие в трюме корабля: падение капель из ведра, подвешенного к потолку, в сосуд с узким горлышком, поставленный на полу; полёт мух и бабочек, находящихся в трюме; бросание мяча и др. «Наблюдайте хорошенько за всем этим, – говорит Сальвиати, – и заставьте привести в движение корабль с какой угодно быстротой. Если движение будет равно-

мерно, то вы не заметите ни малейшей перемены во всех указанных действиях и ни по одному из них не в состоянии будете судить, движется ли корабль или стоит на месте» [Цит. по: 7, с. 45]. В этом высказывании Сальвиати содержится важнейший физический принцип – принцип относительности Галилея: никаким механическим опытом нельзя установить, покоится система или движется равномерно и прямолинейно, движения в ней протекают одинаково. Установление принципа относительности сняло главные возражения против учения Коперника.

В беседе третьего дня в «Диалоге» приводятся астрономические открытия, в разное время сделанные самим Галилеем: горы на Луне, солнечные пятна, фазы Венеры, спутники Юпитера, свидетельствующие в пользу Коперника и против Аристотеля и Птолемея. Сагрето в книге восклицает: «О Николай Коперник. Как обрадовался бы ты, видя, как подтверждена этими фактами твоя истина!» [Цит. по: 7, с. 45].

Нельзя утверждать, что все рассуждения Галилея безошибочны. Приведённая в беседе четвёртого дня теория приливов и отливов, которую ученый считал важнейшим доказательством в пользу теории Коперника, по сути своей противоречит установленному им же принципу относительности.

Богатое содержание «Диалога» далеко не исчерпывается изложенными выше примерами. Блестящая аргументация произвела сильное впечатление на современников, и книга стала сенсацией, заинтересовав даже людей, далеких от науки. На это сочинение сразу обратила внимание церковь, Галилей был вызван в Рим, где предстал перед судом инквизиции. Учёного обвинили в распространении еретических идей, содержащихся в учении Коперника. 22 июня 1633 г. в той же церкви, где Джордано Бруно выслушал смертный приговор, семидесятилетний Галилео Галилей, стоя на коленях, произнёс предложенный ему унижительный текст отречения. После этого учёному запретили видеться с друзьями и учениками, и поместили его под домашний арест на западную виллу в Арчетри близ Флоренции. До конца жизни Галилей считался «узником инквизиции».

Что заставило учёного отречься от дела жизни?

Одни считают, что больной и немощной старик проявил слабость и осуждают его за это. Другие полагают, что именно отречение могло дать Галилею возможность закончить свой последний труд, положивший начало научной механике. Формально, отрекшись от нового учения о строении мира, Галилей на самом деле остался его убежденным сторонником. Именно благодаря этому отречению появилась вторая великая книга Галилея «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению» (1638), открывшая дорогу «Началам» Ньютона и заложившая основы статики и отдельной науки о сопротивлении материалов. Легенда приписывает учёному слова, произнесенные им сразу после суда: «А всё-таки она вертится», – слова, ставшие символом борьбы за научную истину.

Самой знаменитой, приведшей к конфликту с инквизицией, книгой Галилея считается его «Диалог». Однако в научном смысле намного большее значение имеют «Беседы», в которых учёный подводит итоги своих исследований по механике. «Мы создаем совершенно новую науку, – пишет Галилей в «Беседах», – о предмете чрезвычайно старом. В природе нет ничего древнее движения, и о нём философы написали томов немало и немалых. Однако я излагаю многие присущие ему и достойные изучения свойства, которые до сих пор не были замечены, либо не были доказаны» [2, с. 233]. Введя в науку два новых метода (эксперимент и математизация теоретических знаний), Галилео Галилей начинает выстраивать на их базе новую науку о движении.

Остановимся на цикле опытов, связанном с исследованием движения тел по наклонной плоскости. Для того, чтобы средствами XVII в. измерить скорость перемещения падающего тела, необходимо было значительно ее уменьшить, не изменяя при этом условий падения. Галилею удалось это сделать, используя наклонную плоскость. Он установил, что скорость скатывания меньше скорости падения по вертикали в определённое число раз, соответствующее отношению длины наклонной плоскости к её высоте. Применяв наклонную плоскость, Галилей смог опытным путём установить закон движения при падении тел. Он осуществил опыт, подробно описанный в «Беседах»: «гладкий шарик из твердейшей бронзы» скатывался по желобу, «покрытому лощёным пергаментом». Время измерялось водяными часами. Многократно проводя опыт при разных наклонах желоба, Галилей установил фундаментальный физический закон, который мы сейчас записали бы следующим образом:

$$s = \frac{gt^2}{2},$$

где s – модуль перемещения тела; g – модуль ускорения свободного падения тела; t – время движе-

ния.

Далее Галилей устанавливает, что действие является причиной изменения скорости движения; только в пустоте реализуется в точности инерциальное движение. Заслуга Галилея в том, что он увидел сущность совершающихся процессов, скрытую за непосредственной видимостью. Используя приём – мысленный эксперимент, который он сам ввёл в науку, ему удалось ответить на многовековой вопрос о причине изменения скорости движения. Галилей показал, что воззрения Аристотеля, хотя и согласуются с нашим повседневным опытом, но являются ошибочными.

Революционное преобразование методологических основ научных исследований, проведенное Галилео Галилеем состоит в том, что он разработал новый экспериментальный метод исследования природы, придав ему вполне современные черты: создание модели реального процесса, абстрагирование от несущественных фактов, многократные повторения опытов и т. д. В то же время он возродил математический подход Архимеда к исследованию природы.

Научный метод Галилея (естественнонаучный метод познания) включает четыре этапа: факты → гипотеза → следствие → эксперимент. Из наблюдений и опытов формируется предположение – гипотеза, которая хотя и является обобщением опытов, но включает в себя нечто новое, что непосредственно не содержится в каждом конкретном опыте. Гипотеза даёт возможность вывести логическим (математическим) путём определённые следствия, предсказать новые факты; эти факты должны быть проверены на опыте. Экспериментальная проверка следствий подтверждает гипотезу, превращает её в научную теорию или научный закон. Галилео Галилея по праву считают одним из основоположников науки Нового времени.

Более 300 лет спустя в конце XX века (1992 г.) католическая церковь признала свою ошибку в деле Галилея и «реабилитировала» его. В беседе с академиком В. И. Арнольдом папа Иоанн Павел II признал, что наука одна способна установить истину, а религия, по словам понтифика, считает себя более компетентной в оценке возможного использования научных открытий.

Галилей сказал однажды: «Я не хочу верить, что Бог, одаривший нас чувствами, разумом и интеллектом, не хотел, чтобы мы пользовались этими дарами» [Цит. по: 4, с. 31]. Исходя из этого, он пытался объяснить мироустройство с рациональной, математической точки зрения.

Тщательные наблюдения Галилея и в наше время приносят ощутимую практическую пользу. Так, в конце XX века, когда католическая церковь официально реабилитировала Галилея, журналы его наблюдений были заново просмотрены историками астрономии. Оказалось, что зимой 1612–1613 гг. Галилей несколько раз зарисовал звездочку в таком месте, где близко нет ни одной звезды, доступной по яркости его телескопу. Небрежность?.. Ошибка?!.. Вовсе нет. Удалось установить, что Галилей в 1612–1613 гг. наблюдал планету Нептун. Разумеется, в свой крохотный телескоп он не был в состоянии различить диск планеты. Он не мог даже вообразить, что натолкнулся на новую планету. Однако благодаря зоркости Галилея астрономам удалось восстановить на небе точное положение планеты Нептун за 233 года до её открытия [5]. Галилео Галилей и сегодня шагает в ногу со временем!

Следы Галилея сегодня можно встретить повсюду. Имя Галилео Галилея увековечено в названии целого ряда объектов Солнечной системы, космических аппаратов, единицы измерения физической величины, принципа относительности и преобразования координат в классической механике и др. Его математическая формула ускорения свободного падения продолжает использоваться в наши дни в почти первоначальном виде. Но самым долговечным вкладом Галилея в мир науки стал изобретённый им научный метод, основанный на опыте и математической обработке полученных данных. Без этого метода не было бы ни современных, ни грядущих достижений науки.

Список литературы

1. Галилей Г. Избранные труды: в 2 т. Т. 1. М.: Наука, 1964. 640 с.
2. Галилей Г. Избранные труды: в 2 т. Т. 2. М.: Наука, 1964. 572 с.
3. Галилео Галилей. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Галилей,_Галилео (дата обращения: 10.04.2014).
4. Галилео Галилей // 100 человек, изменившие ход истории. № 9. URL: <http://zhurnalko.net/=100-chelovek-kotorie-izmenili-istoriju/09-galilej> (дата обращения: 10.04.2014).
5. Гурштейн А. А. Извечные тайны неба: кн. для учащихся. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Просвещение, 1984. 272 с.

6. Ильин В. А., Кудрявцев В. В. История и методология физики: учебник для магистров. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2014. 579 с.
7. Кудрявцев П. С. Курс истории физики: учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. М.: Просвещение, 1974. 312 с.
8. Кузнецов Б. Г. Галилео Галилей. М.: Наука, 1964. 423 с.
9. Шмутцер Э., Шютц В. Галилео Галилей / пер. с нем. М.: Мир, 1987. 143 с.
10. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М.: Молодая гвардия, 1966. 265 с.

References

1. Galilej G. Izbrannye trudy: v 2 t. T. 1. М.: Nauka, 1964. 640 s.
2. Galilej G. Izbrannye trudy: v 2 t. T. 2. М.: Nauka, 1964. 572 s.
3. Galileo Galilej. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Galilej,_Galileo (data obrashhenija: 10.04.2014).
4. Galileo Galilej // 100 chelovek, izmenivshie hod istorii. № 9. URL: <http://zhurnalko.net/=100-chelovek-kotorige-izmenili-istoriju/09-galilej> (data obrashhenija: 10.04.2014).
5. Gurshtejn A. A. Izvechnye tajny neba: kn.dlja uchashhihsja. 2-e izd., pererab. i dop. М.: Prosveshhenie, 1984. 272 s.
6. Il'in V. A., Kudrjavcev V. V. Istorija i metodologija fiziki: uchebnik dlja magistrov. 2-e izd., pererab. i dop. М.: Jurajt, 2014. 579 s.
7. Kudrjavcev P. S. Kurs istorii fiziki: ucheb. posobie dlja studentov fiz.-mat. fak. ped. in-tov. М.: Prosveshhenie, 1974. 312 s.
8. Kuznecov B. G. Galileo Galilej. М.: Nauka, 1964. 423 s.
9. Shmutcer Je., Shjutc V. Galileo Galilej / per. s nem. М.: Mir, 1987. 143 s.
10. Jejsnshtejn A., Infel'd L. Jevoljucija fiziki. М.: Molodaja gvardija, 1966. 265 s.

Статья поступила в редакцию 19.05.2014

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция принимает **не опубликованные** ранее материалы объемом до 1 п. л. (40 000 знаков с пробелами), выполненные в жанрах:

Жанр	Минимальный объем
статья <i>теоретического и эмпирического характера, содержащая основные научные результаты, полученные автором</i>	0,5 п. л. (20 000 знаков)
научные доклады	0,3 п. л. (12 000 знаков)
научные обзоры рецензии	0,2 п. л. (8 000 знаков)

В редакцию НЕОБХОДИМО ПРЕДСТАВИТЬ:

1. Печатный и электронный вариант статьи на CD и других носителях. В имени файла и на электронном носителе указывается фамилия автора и название статьи. Печатный вариант статьи обязателен (белая бумага, формат А 4). Распечатка рукописи должна быть полностью идентична электронному варианту.
2. Договор на оказание услуг – в 2 экземплярах.
3. Рецензия на статью – внешний отзыв, заверенный печатью.
4. Отзыв научного руководителя с указанием новизны и достоверности исследования, *если автор статьи – аспирант, соискатель учёной степени кандидата наук.*
5. Личная карточка автора – сведения об авторе /авторах.

СТРУКТУРА СТАТЬИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДКОЛЛЕГИЮ ЖУРНАЛА

Отрасль науки (рубрика журнала)

Код: УДК и ББК

Инициалы, фамилия автора приводятся на русском и английском языках. Количество со-авторов в статье может быть не более 4.

Город

Страна

Название статьи приводится на русском и английском языках строчными буквами (не заглавными).

Аннотация (не менее 200 слов) – на русском и английском языках. Текст аннотации должен включать основные результаты статьи. Аннотация не должна содержать каких-либо ссылок.

Ключевые слова или словосочетания (5–7) отделяются друг от друга запятой. Приводятся на русском и английском языках.

Основной текст статьи с внутритекстовыми ссылками на цитируемые источники.

Список литературы даётся в алфавитном порядке, со сквозной нумерацией. Если в список входит литература на иностранных языках, она следует за литературой на русском языке.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Общие требования: формат А 4, ориентация книжная.

Параметры страницы: верхнее и нижнее – 2; левое и правое – 2,5. Шрифт Times New Roman, кегль 14, интервал полуторный. Отступ первой строки – 1,25. Текст без переносов, выравнивание по ширине.

При использовании дополнительных шрифтов при наборе статьи представить их в редакцию.

Статья должна быть со сквозной нумерацией. *На последней странице указывается, что «статья публикуется впервые», ставится дата и подпись.*

Рабочие языки: русский и английский.

Список литературы оформляется согласно ГОСТу Р. 7.0.5 - 2008. Для каждого источника обязательно указывается изд-во, общее количество страниц или номера страниц интересующего материала источника.

В тексте **ссылки** приводятся в квадратных скобках с указанием порядкового номера и страницы: [1, с. 25]. Несколько источников отделяются друг о друга точкой с запятой [1; 3; 4].

Комментарии и пояснения даются в виде концевых сносок (в конце текста). Маркер сноски – арабская цифра, нумерация сплошная.

Особенности набора слов, цифр, формул, единиц измерения:

Слова на латинице набираются курсивом.

Единицы измерения отбиваются от символов и цифр, к которым они относятся.

Делать чёткое различие O (буквы) и 0 (ноль), 1 (единицу) и I (римскую единицу или букву «и») и т.д. Необходимо различать дефис (-) и тире (–).

Не следует заменять букву «ё» на «е».

Таблицы оформляются в формате Word, должны быть озаглавлены и иметь сквозную нумерацию в пределах статьи, обозначаемую арабскими цифрами (например, таблица 1), в тексте ссылки нужно писать сокращённо (табл. 1). Содержание таблиц не должно дублировать текст. Слова в таблицах должны быть написаны полностью, верно должны быть расставлены переносы. В ячейке таблицы в конце предложения точка не ставится.

Чёрно-белые рисунки (графики, диаграммы – формат Excell, схемы, карты, фотографии) со сквозной нумерацией (арабскими цифрами) и везде обозначаются сокращённо (например: рис. 1). Представляются в формате jpg (разрешение не менее 300 т/д) отдельными файлами с указанием его порядкового номера, фамилии автора/ авторов и названия статьи. Размер рисунка 170 × 240 мм. Все детали рисунка при его уменьшении должны хорошо различаться. Все подрисовочные подписи прилагаются отдельным списком в конце статьи.

Объём рисунков не должен превышать 1/4 объёма статьи.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ФИЗИКА, МАТЕМАТИКА, ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ»

Электронный вариант статьи предоставляется на CD и других носителях или по электронной почте. Предоставляемые файлы должны обладать расширением **.tex** и **.pdf**. Издательство использует систему вёрстки miktex для Windows версии не ниже 2.7.

Материалы, не соответствующие предъявленным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

Материалы публикуются в авторской редакции. За точность содержания цитат и ссылок ответственность несут авторы.

Пакет документов, необходимый для опубликования материалов, **отсылается по адресу:** 672007, г. Чита, ул. Бабушкина, 129, Забайкальский государственный университет, для Редакции научных журналов ЗабГУ.



Редакция журнала приносит извинение за опубликование в 2011 г. в журнале «Учёные записки ЗабГГПУ», серия «Физика, математика, техника и технология» №3(38) статьи Р. А. Гитсельтера «Строительные материалы и структуры, основанные на полимерных наноструктурированных матрицах» с использованием построчной копии чужого текста без ссылки на первоисточник: О. Figovsky, D.Beilin "Building Materials Based on Advanced Polymer Matrix" // ScientificIsrael-Technological Advanced (www. sita-journal.com).

В настоящее время редакция научных журналов обеспечена лицензионным техническим инструментарием для проверки статей на антиплагиат, предпринят ряд мер (двухуровневая проверка статьи на антиплагиат, слепое рецензирование статей) для максимально возможного исключения подобных неприятных для авторов и редакции журнала инцидентов.

Редакционная коллегия научного журнала

Editorial Board apologizes for publication in 2011 in the journal «Scholarly Notes of ZabSHPU» series «Physics, Mathematics, Engineering and Technology» № 3 (38) of the article by R.A. Gitselter «Building materials and structures based on polymer nano-structured matrices» using progressive copy of someone else's text without reference to the source: O. Figovsky, D. Beilin «Building Materials Based on Advanced Polymer Matrix» // ScientificIsrael-Technological Advanced (www. sita-journal.com).

Currently Editorial Board of the scientific journals has a license technical tool to verify articles on antiplagiat, it was taken a number of measures (Duplex check articles in antiplagiat, blind peer review of articles) for the maximum avoiding such unpleasant incidents for authors and editors of the journal.

The editorial board of the scientific journal

Корректор О. Ю. Гапченко
Редактор перевода А. С. Атрощенко
Вёрстка: Г. А. Зенкова

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times». Сдано в печать 15.09.14.
Усл. печ. 12,0.
Усл. изд. л. 16,7.
Тираж 1000 экз.
Заказ № 16714
Забайкальский государственный
университет
672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30

Corrector O. Yu. Gapchenko
Translator A. S. Atroshchenko
Make-up: G. A. Zenkova

Format 60×84 1/8. Offset paper
Headset "Times". Signed to print 15.09.14.
Con. quires 12,0.
Con. pub. quires 16,7.
Circulation 1000 copies.
Order № 16714.
Zabaikalsky State University
672039, Chita, 30 Aleksandro-Zavodskaya St.