

ISSN 2518-7198



№ 1(85)/2017

ФИЗИКА сериясы

Серия ФИЗИКА

PHYSICS Series

ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК
КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

BULLETIN
OF THE KARAGANDA
UNIVERSITY

ISSN 2518-7198

Индексі 74616

Индекс 74616

**ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ**

ВЕСТНИК
КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

BULLETIN
OF THE KARAGANDA
UNIVERSITY

ФИЗИКА сериясы

Серия ФИЗИКА

PHYSICS Series

№ 1(85)/2017

Қаңтар–ақпан–наурыз
30 наурыз 2017 ж.

Январь–февраль–март
30 марта 2017 г.

January–February–March
March, 30, 2017

1996 жылдан бастап шығады
Издается с 1996 года
Founded in 1996

Жылына 4 рет шығады
Выходит 4 раза в год
Published 4 times a year

Қарағанды, 2017
Караганда, 2017
Karaganda, 2017

Бас редакторы

ЖМ ХҒА академигі, заң ғыл. д-ры, профессор

Е.Қ. Көбеев

Бас редактордың орынбасары

Х.Б. Омаров, ҚР ҰҒА корр.-мүшесі,
техн. ғыл. д-ры, профессор

Жауапты хатшы

Г.Ю. Аманбаева, филол. ғыл. д-ры, профессор

Редакция алқасы

Б.Р. Нүсіпбеков,

Т.Ә. Көкетайтегі,

Н.Х. Ибраев,

А.О. Сәулебеков,

Қ.М. Арынғазин,

И.В. Брейдо,

И.П. Курытник,

М. Стоев,

М.М. Кидибаев,

З.Ж. Жаңабаев,

Г.В. Климушева,

С.Е. Көмеков,

В.М. Лисицын,

И.Н. Огородников,

О.П. Пчеляков,

А.Т. Акылбеков,

А.Ж. Тұрмұхамбетов,

К.Ш. Шүңкеев,

В.Ю. Кучерук,

Л.В. Чиркова,

ғылыми редактор техн. ғыл. канд. (Қазақстан);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Қазақстан);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Қазақстан);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Қазақстан);

пед. ғыл. д-ры (Қазақстан);

техн. ғыл. д-ры (Қазақстан);

техн. ғыл. д-ры (Польша);

PhD д-ры (Болгария);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Қырғызстан);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Қазақстан);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Украина);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Қазақстан);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Ресей);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Ресей);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Ресей);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Қазақстан);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Қазақстан);

физ.-мат. ғыл. д-ры (Қазақстан);

техн. ғыл. д-ры (Украина);

жауапты хатшы техн. ғыл. канд. (Қазақстан)

Редакцияның мекенжайы: 100028, Қазақстан, Қарағанды қ., Университет к-сі, 28

Тел.: (7212) 77-03-69 (ішкі 1026); факс: (7212) 77-03-84.

E-mail: vestnick_kargu@ksu.kz. Сайт: vestnik.ksu.kz

Редакторлары

И.Д. Рожнова, Ж.Т. Нурмуханова

Компьютерде беттеген

Д.Н. Муртазина

Қарағанды университетінің хабаршысы. «Физика» сериясы.

ISSN 2518-7198

Меншік иесі: «Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті» РММ.

Қазақстан Республикасының Мәдениет және ақпарат министрлігімен тіркелген. 23.10.2012 ж. № 13111–Ж тіркеу куәлігі.

Басуға 29.03.2017 ж. қол қойылды. Пішімі 60×84 1/8. Қағазы офсеттік. Көлемі 13,25 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша. Тапсырыс № 27.

Е.А. Бөкетов атындағы ҚарМУ баспасының баспаханасында басылып шықты

100012, Қазақстан, Қарағанды қ., Гоголь к-сі, 38. Тел. 51-38-20. E-mail: izd_kargu@mail.ru

Главный редактор
академик МАН ВШ, д-р юрид. наук, профессор
Е.К. Кубеев

Зам. главного редактора **Х.Б. Омаров**, чл.-корр. НАН РК,
д-р техн. наук, профессор
Ответственный секретарь **Г.Ю. Аманбаева**, д-р филол. наук, профессор

Редакционная коллегия

Б.Р. Нусупбеков,	научный редактор канд. техн. наук (Казахстан);
Т.А. Кокетагтеги,	д-р физ.-мат. наук (Казахстан);
Н.К. Ибраев,	д-р физ.-мат. наук (Казахстан);
А.О. Саулебеков,	д-р физ.-мат. наук (Казахстан);
К.М. Арынгазин,	д-р пед. наук (Казахстан);
И.В. Брейдо,	д-р техн. наук (Казахстан);
И.П. Курытник,	д-р техн. наук (Польша);
М. Стоев,	д-р PhD (Болгария);
М.М. Кидибаев,	д-р физ.-мат. наук (Кыргызстан);
З.Ж. Жанабаев,	д-р физ.-мат. наук (Казахстан);
Г.В. Климушева,	д-р физ.-мат. наук (Украина);
С.Е. Кумеков,	д-р физ.-мат. наук (Казахстан);
В.М. Лисицын,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
И.Н. Огородников,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
О.П. Пчеляков,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
А.Т. Акылбеков,	д-р физ.-мат. наук (Казахстан);
А.Ж. Турмухамбетов,	д-р физ.-мат. наук (Казахстан);
К.Ш. Шункеев,	д-р физ.-мат. наук (Казахстан);
В.Ю. Кучерук,	д-р техн. наук (Украина);
Л.В. Чиркова,	ответственный секретарь канд. техн. наук (Казахстан)

Адрес редакции: 100028, Казахстан, г. Караганда, ул. Университетская, 28

Тел.: (7212) 77-03-69 (внутр. 1026); факс: (7212) 77-03-84.

E-mail: vestnick_kargu@ksu.kz. Сайт: vestnik.ksu.kz

Редакторы

И.Д. Рожнова, Ж.Т. Нурмуханова

Компьютерная верстка

Д.Н. Муртазина

Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика».

ISSN 2518-7198

Собственник: РГП «Карагандинский государственный университет имени академика Е.А. Букетова».
Зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан. Регистрационное
свидетельство № 13111–Ж от 23.10.2012 г.

Подписано в печать 29.03.2017 г. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Объем 13,25 п.л. Тираж 300 экз.
Цена договорная. Заказ № 27.

Отпечатано в типографии издательства КарГУ им. Е.А. Букетова
100012, Казахстан, г. Караганда, ул. Гоголя, 38, тел.: (7212) 51-38-20. E-mail: izd_kargu@mail.ru

© Карагандинский государственный университет, 2017

Main Editor

Academician of IHEAS, Doctor of Law

Ye.K. Kubeyev

Deputy main Editor

Kh.B. Omarov, Corresponding member of NAS RK,
Doctor of techn. sci., Professor

Responsible secretary

G.Yu. Amanbayeva, Doctor of phylol. sciences, Professor

Editorial board

B.R. Nusupbekov ,	Science editor Cand. of techn. sciences (Kazakhstan);
T.A. Kuketaev ,	Doctor of phys.-math. sciences (Kazakhstan);
N.Kh. Ibrayev ,	Doctor of phys.-math. sciences (Kazakhstan);
F.O. Saulebekov ,	Doctor of phys.-math. sciences (Kazakhstan);
K.M. Aryngasin ,	Doctor of ped. sciences (Kazakhstan);
I.V. Breido ,	Doctor of techn. sciences (Kazakhstan);
I.P. Kurytnik ,	Doctor of techn. sciences (Poland);
M. Stoev ,	PhD (Bulgaria);
M.M. Kidibaev ,	Doctor of phys.-math. sciences (Kyrgyzstan);
Z.Zh. Zhanabaev ,	Doctor of phys.-math. sciences (Kazakhstan);
G.V. Klimusheva ,	Doctor of phys.-math. sciences (Ukraine);
S.E. Kumekov ,	Doctor of phys.-math. sciences (Kazakhstan);
V.M. Lisitsyn ,	Doctor of phys.-math. sciences (Russia);
I.N. Ogorodnikov ,	Doctor of phys.-math. sciences (Russia);
O.P. Pchelyakov ,	Doctor of phys.-math. sciences (Russia);
A.T. Akyzbekov ,	Doctor of phys.-math. Sciences (Kazakhstan);
A.Zh. Turmuhambetov ,	Doctor of phys.-math. sciences (Kazakhstan);
K.Sh. Shunkeyev ,	Doctor of phys.-math. sciences (Kazakhstan);
V.Yu. Kucheruk ,	Doctor of techn. sciences (Ukraine);
L.V. Chirkova ,	Secretary Cand. of techn. sciences (Kazakhstan)

Postal address: 28, University Str., 100028, Karaganda, Kazakhstan

Tel.: (7212) 77-03-69 (add. 1026); fax: (7212) 77-03-84.

E-mail: vestnick_kargu@ksu.kz. Web-site: vestnik.ksu.kz

Editors

I.D. Rozhnova, Zh.T. Nurmukhanova

Computer layout

D.N. Murtazina

Bulletin of the Karaganda University. «Physics» series.

ISSN 2518-7198

Proprietary: RSE «Academician Ye.A. Buketov Karaganda State University».

Registered by the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan. Registration certificate No. 13111–Zh from 23.10.2012.

Signed in print 29.03.2017. Format 60×84 1/8. Offset paper. Volume 13,25 p.sh. Circulation 300 copies. Price upon request. Order № 27.

Printed in the Ye.A. Buketov Karaganda State University Publishing house.

100012, Kazakhstan, Karaganda, Gogol Str., 38, Tel.: (7212) 51-38-20. E-mail: izd_kargu@mail.ru

МАЗМҰНЫ

КОНДЕНСАЦИЯЛАНҒАН КҮЙДІҢ ФИЗИКАСЫ

<i>Джанাবেкова Р.Х., Селиверстова Е.В., Ибраев Н.Х.</i> Азот енгізілген графен оксиді моноқабаттарының физикалық-химиялық қасиеттерін зерттеу	8
<i>Чиркова Л.В., Ермаганбетов К.Т., Скубневский Э.В., Маханов К.М., Аринова Е.Т., Омирбек А.</i> Ганн диодындағы физикалық процестер және энергия балансы	15
<i>Афанасьев Д.А., Айтымов Ж.К., Ильясов Б.Р., Ибраев Н.Х.</i> Гидротермалдық және импульсті электрохимиялық әдіспен алынған ZnO наноөзекшенің люминесценттік қасиеттерін салыстыру ...	22
<i>Портнов В.С., Новикова Л.К., Выжва С.А., Рева Н.В., Байжанова А.Р., Юров В.М., Маусымбаева Ә.Д.</i> Нұрқазған кен орны Батыс бөлігінің минералдарының ұсақталуы мен ұнтақталуы	28
<i>Рева Н.В., Портнов В.С., Бялова Г.Г., Маусымбаева Ә.Д.</i> Диполь көздерінің магнит өрісіндегі өтпелі үрдістердің кейінгі асимптотасы туралы	37
<i>Скуратов В.А., Сайфулин М.М., Аралбаева Г.М., О'Коннелл Ж.Г., Ван Вуурен А.Д.</i> Жылдам ауыр иондармен сәулелендіргеннен кейін титан диоксид бетінің зақымдануы	47

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ

<i>Курытник И.П., Нусупбеков Б.Р., Карабекова Д.Ж., Хасенов А.К.</i> Технологиялық процестерді тексеру үшін жылу ағыны өлшегіштері жұмысының теориялық негіздері	55
<i>Нүсіпбеков Б.Р., Хасенов А.К., Стоев М., Карабекова Д.Ж., Бейсенбек А.Ж.</i> Биоэтанолды алу үдерісін қарқындатуға арналған технология	60
<i>Нүсіпбеков Б.Р., Хасенов А.К., Карабекова Д.Ж., Стоев М., Бейсенбек А.Ж., Қазанқан Б.И.</i> Жылуалмастырғыштарды қалпына келтірудің жаңа технологиясы.....	67

АСПАПТАР МЕН ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАСЫ

<i>Испулов Н.А., Жұмабеков А.Ж., Абдрахманов А.Б., Нұрғожина М.</i> Arduino микробақылауыштары көмегімен термистор арқылы температураны өлшеу туралы	73
--	----

ТЕХНИКАЛЫҚ ФИЗИКА

<i>Айкеева А.А., Роговая К.С., Танскожанова А.Р., Аюбекова А.Е., Мухтарова П.А., Оспанов А.Е.</i> ANSYS Maxwell бағдарламалық ортада скип қозғалысының имитациялық моделін жасау	82
--	----

ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

<i>Ковель Т.С., Ильина Л.Ф.</i> «Механикадағы сақталу заңдары» бөлімі мысалындағы элементарлы физика курсының ғылыми негіздері.....	89
<i>Куралбаева Ж.Ш., Кудусов А.С., Бейбитова А.З.</i> Білім үрдісіндегі физика сабағында CLIL оқыту әдістемесін қолдану	97

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР	104
----------------------------------	-----

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

<i>Джанাবেкова Р.Х., Селиверстова Е.В., Ибраев Н.Х.</i> Исследование физико-химических свойств монослоев оксида графена, допированного азотом	8
<i>Чиркова Л.В., Ермаганбетов К.Т., Скубневский Э.В., Маханов К.М., Аринова Е.Т., Омирбек А.</i> Физические процессы в диоде Ганна и баланс энергии	15
<i>Афанасьев Д.А., Айтымов Ж.К., Ильясов Б.Р., Ибраев Н.Х.</i> Сравнение люминесцентных свойств наностержней ZnO, полученных гидротермальным и импульсным электрохимическим методами.....	22
<i>Портнов В.С., Новикова Л.К., Выжва С.А., Рева Н.В., Байжанова А.Р., Юров В.М., Маусымбаева А.Д.</i> Дробление и измельчение минералов западного участка месторождения Нурказган	28
<i>Рева Н.В., Портнов В.С., Блялова Г.Г., Маусымбаева А.Д.</i> О поздней асимптоте переходных процессов в магнитном поле дипольных источников.....	37
<i>Скуратов В.А., Сайфулин М.М., Аралбаева Г.М., О'Коннелл Ж.Г., Ван Вуурен А.Д.</i> Повреждение диоксида титана вблизи поверхности после облучения быстрыми тяжелыми ионами.....	47

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

<i>Курьтник И.П., Нусупбеков Б.Р., Карабекова Д.Ж., Хасенов А.К.</i> Теоретические основы работы измерителей теплового потока для диагностики технологических процессов.....	55
<i>Нусупбеков Б.Р., Хасенов А.К., Стоев М., Карабекова Д.Ж., Бейсенбек А.Ж.</i> Технология для интенсификации процесса получения биоэтанола.....	60
<i>Нусупбеков Б.Р., Хасенов А.К., Карабекова Д.Ж., Стоев М., Бейсенбек А.Ж., Қазанқан Б.И.</i> Новая технология для восстановления теплообменников.....	67

ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

<i>Испулов Н.А., Жумабеков А.Ж., Абдрахманов А.Б., Нургожина М.</i> Об измерении температуры термистором с помощью микроконтроллеров Arduino.....	73
---	----

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

<i>Айкеева А.А., Роговая К.С., Танскожанова А.Р., Аюбекова А.Е., Мухтарова П.А., Оспанов А.Е.</i> Разработка имитационной модели в программной среде ANSYS Maxwell.....	82
---	----

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ

<i>Ковель Т.С., Ильина Л.Ф.</i> Научные основы элементарного курса физики на примере раздела «Законы сохранения в механике»	89
<i>Куралбаева Ж.Ш., Кудусов А.С., Бейбитова А.З.</i> Применение методики обучения CLIL в образовательном процессе на уроках физики.....	97

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	104
--------------------------	-----

CONTENTS

PHYSICS OF THE CONDENSED MATTER

<i>Dzhanabekova R.H., Seliverstova E.V., Ibrayev N.Kh.</i> The investigation of the physicochemical properties of the monolayers oxide doped with nitrogen	8
<i>Chirkova L.V., Yermaganbetov K.T., Skubnevsky E.V., Mahanov K.M., Arinova H.T., Omirbek A.</i> Physical processes in the Gunn diode and the energy balance	15
<i>Afanasyev D.A., Aitymov Zh.K., Ilyassov B.R., Ibrayev N.Kh.</i> Comparison of luminescence properties of ZnO nanorods, obtained by hydrothermal method and pulse electrochemical method	22
<i>Portnov V.S., Novikova L.K., Vyzhva S.A., Reva N.V., Baizhanova A.R., Yurov V.M., Maussymbayeva A.D.</i> Crushing and grinding minerals deposits of the western area Nurkazgan	28
<i>Reva N.V., Portnov V.S., Blyalova G.G., Maussymbayeva A.D.</i> About late asymptote of transient processes in the magnetic field of the dipole sources	37
<i>Skuratov V.A., Saifulin M.M., Aralbayeva G.M., O'Connell J.H., Van Vuuren A.J.</i> Near-surface titanium dioxide damage after irradiation with swift heavy ions	47

THERMOPHYSICS AND THEORETICAL THERMOENGINEERING

<i>Kurytnik I.P., Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Khassenov A.K.</i> Theoretical bases of work of heat flow meters for diagnostics of technological processes	55
<i>Nussupbekov B.R., Khassenov A.K., Stoev M., Karabekova D.Zh., Beysenbek A.Zh.</i> The technology for the intensification of the process of bioethanol production	60
<i>Nussupbekov B.R., Khassenov A.K., Karabekova D.Zh., Stoev M., Beysenbek A.Zh., Kazankap B.I.</i> New technology for the recovery of heat exchangers	67

INSTRUMENTS AND EXPERIMENTAL TECHNIQUES

<i>Ispulov N.A., Zhumabekov A.Zh., Abdrakhmanov A.B., Nurgozhina M.M.</i> About temperature measurement with a thermistor using Arduino microcontrollers	73
--	----

TECHNICAL PHYSICS

<i>Aikeyeva A.A., Rogovaya X.S., Tanskozhanova A.R., Ayubekova A.E., Mukhtarova P.A., Ospanov A.E.</i> Development of imitating model of skip motion in the program environment ANSYS Maxwell	82
---	----

METHODOLOGY OF PHYSICS

<i>Kovel T.S., Ilina L.F.</i> Scientific bases of elementary physics course on the example of the part «Conservation laws in mechanics»	89
<i>Kuralbayeva Zh.Sh., Kudussov A.S., Beybitova A.Z.</i> Application of CLIL teaching methods in the educational process of physics lessons	97

INFORMATION ABOUT AUTHORS	104
---------------------------------	-----

КОНДЕНСАЦИЯ ЛАНҒАН КҮЙДІҢ ФИЗИКАСЫ ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ PHYSICS OF THE CONDENSED MATTER

УДК 539.23, 541.1

Р.Х. Джанабекова, Е.В. Селиверстова, Н.Х. Ибраев

*Институт молекулярной нанофотоники;
Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Казахстан
(E-mail: rumiya_j@mail.ru)*

Исследование физико-химических свойств монослоев оксида графена, допированного азотом

В работе представлены результаты исследования поведения пленок допированного азотом (NGO) оксида графена, сформированных на границе раздела вода–воздух. Получены кривые зависимости поверхностного натяжения пленок от занимаемой площади. Показано, что поведение монослоя оксида графена, допированного азотом, схоже с поведением ленгмюровской пленки однослойного оксида графена. Исследована стабильность монослоев азотсодержащего оксида графена. Изучение стабильности ленгмюровской пленки показало, что монослой NGO в различных фазовых состояниях стабилен. При измерении кривых гистерезиса сжатия и расширения монослоя обнаружено, что количество циклов сжатия пленки практически не влияет на площадь пленки в жидко-растянутом состоянии. Для монослоя, находящегося в жидко-конденсированном состоянии, повторное сжатие ведет к уменьшению площади пленки. На основании полученных результатов можно судить о том, что допированный азотом оксид графена образует на поверхности воды стабильный монослой и может быть использован для получения пленок по технологии Ленгмюра-Блоджетт.

Ключевые слова: допированный азотом оксид графена, фазовое состояние, монослой, метод Ленгмюра-Блоджетт, гистерезис сжатия и расширения.

В последнее десятилетие огромной популярностью в научном мире пользуется графен — двумерный углеродный материал с атомами, расположенными в гексагональной решетке. Уникальные физические свойства графена (высокая площадь поверхности, превосходная проводимость, механическая прочность, прозрачность в видимой области спектра и т.д.) делают его весьма перспективным для применения в различных областях науки и техники, таких как электроника, энергетика, биотехнология и т.п.

Наряду с самим графеном большой интерес вызывают его производные: оксид графена; восстановленный оксид графена; графен, допированный азотом. Теоретические [1, 2] и экспериментальные [3–5] исследования показывают, что легирование графена открывает новые возможности для физики и химии этого уникального материала.

Очень часто для практического применения требуется получение однослойных или многослойных структур. Такие требования могут быть эффективно реализованы с применением технологии Ленгмюра-Блоджетт. Данная технология позволяет контролировать толщину пленки и получать структуры, в которых молекулы упакованы определенным образом. В настоящее время имеется ряд работ, в которых метод Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) был использован для получения однослойных пленок на основе оксида графена [6–9] и поверхностно-активных производных оксида графена [10].

В представленной работе приведены результаты исследования физико-химических свойств монослоев оксида графена, допированного азотом (NGO), на границе раздела вода/воздух с целью исследования возможности применения ЛБ технологии для приготовления тонких твердых пленок на твердых подложках. До настоящего времени исследования по получению и изучению свойств монослоев NGO не проводились.

Для приготовления пленок графена использованы дисперсии оксида графена, допированного азотом (N-doped graphene oxide, Sigma Aldrich, концентрация 1 мг/мл) в воде. Поскольку вода является неподходящим растворителем для распределения вещества на поверхности воды, то в водный рас-

твор был добавлен диметилформаид (ДМФ) так, чтобы соотношение растворителей было 3:1 (ДМФ:вода). Приготовленный раствор обрабатывали в ультразвуковой ванне в течение 20 минут. Полученная дисперсная система является устойчивой достаточно длительное время (около недели).

Размер частиц графена в растворах определяли методом динамического рассеяния света с помощью анализатора Zetasizer nano (Malvern). Измерения распределения размеров частиц в дисперсии показали, что большая часть частиц NGO имеет диаметр от 450 до 600 нм (около 70%). Остальные 30% частиц имеют размер около 350 нм и 825–950 нм (рис. 1).

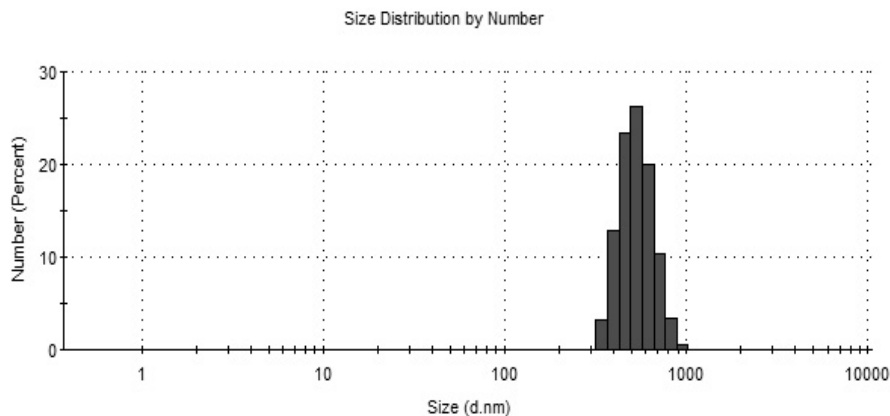


Рисунок 1. Распределение размеров частиц NGO в дисперсии после обработки ультразвуком

При повторных измерениях, проведенных через 1 час после диспергирования, размер частиц увеличился до 650–660 нм, что свидетельствует об агрегации NGO в растворе.

Исследуемые монослои формировали на поверхности раздела фаз вода–воздух методом растекания из раствора в ванне Ленгмюра-Блоджетт (KSV NIMA Medium). В качестве субфазы использована деионизованная вода, очищенная при помощи системы очистки воды AquaMax. Удельное сопротивление воды равно 18,2 МΩ/см. Поверхностное натяжение воды составляет 72,8 мН/м при pH = 5,6 и температуре 22 °С.

Зависимость поверхностного натяжения от площади ($\pi - A$ изотерма), занимаемой пленкой, на поверхности водной субфазы является важной характеристикой монослоя [11, 12]. По $\pi - A$ изотерме составляется представление о состоянии ленгмюровской пленки и, соответственно, подбираются оптимальные условия (объем наносимого раствора, давление монослоя), необходимые для переноса вещества на твердую подложку.

Для изучения состояния монослоя на поверхность воды были нанесены разные объемы раствора NGO. Скорость движения барьеров при сжатии пленок составляла 5 мм/мин. На рисунке 2 представлены измеренные изотермы сжатия монослоев NGO.

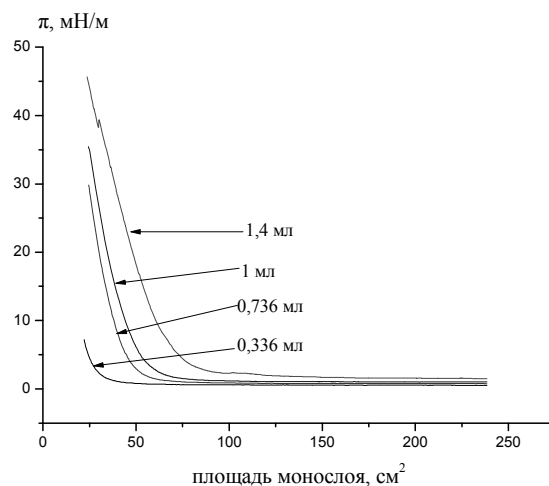


Рисунок 2. Изотермы сжатия монослоев NGO на поверхности субфазы, сформированные из разного количества нанесенной дисперсии

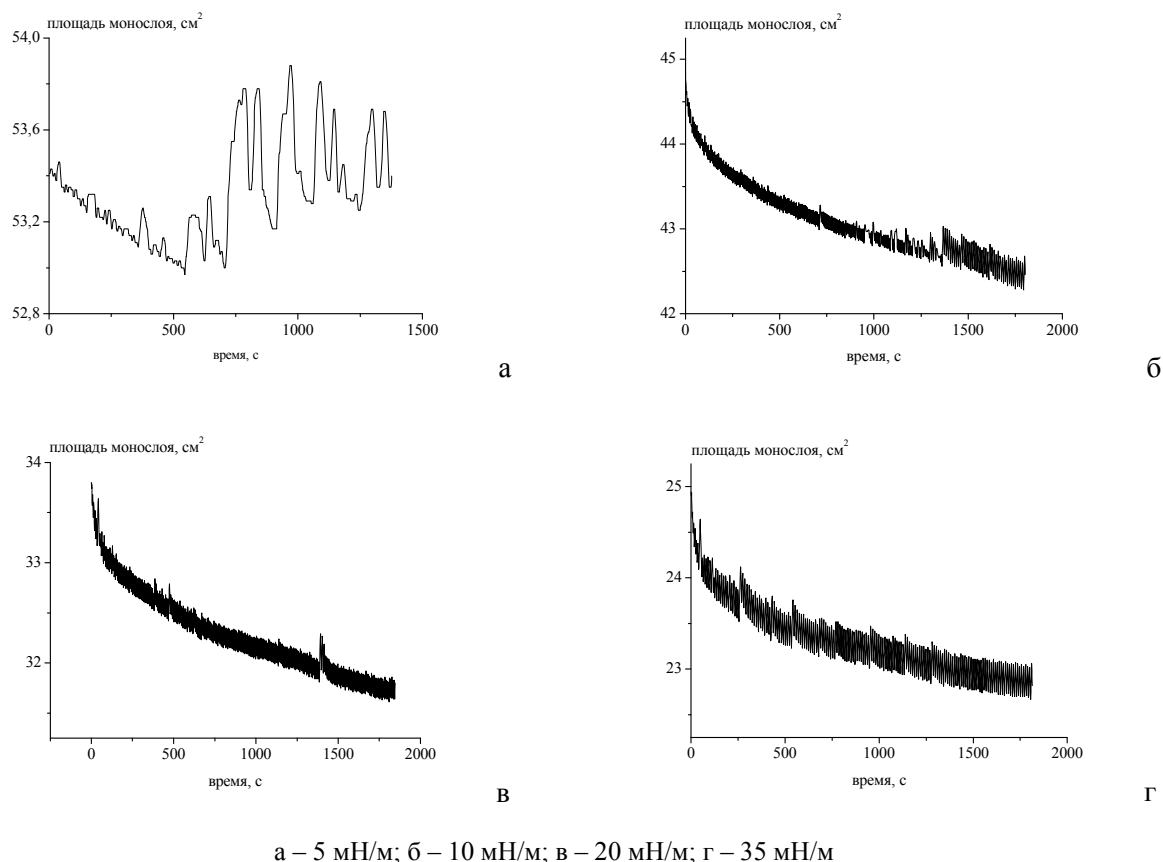
Изотермы, полученные для NGO, по форме повторяют изотермы для однослойного оксида графена (SLGO) [9]. При сжатии монослой длительное время находится в газообразной фазе [11] (приблизительно до 2 мН/м), независимо от количества нанесенного вещества. При давлениях от 2 до 8 мН/м наблюдается жидкая фаза, от 8 мН/м и выше — жидко-конденсированная фаза. Как и в случае монослоев SLGO, для всех объемов нанесенных растворов NGO коллапса пленок не наблюдается. Отсутствие коллапса для монослоя NGO, как и для однослойного оксида графена, объясняется возможностью «чешуек» NGO образовывать складки и заворачиваться по краям при соприкосновении друг с другом. Исходя из визуальных наблюдений за монослоем NGO можно сказать, что образующаяся пленка на поверхности субфазы «островковая» и более «жесткая и ломкая» по сравнению с монослоем однослойного оксида графена.

По полученным π -А изотермам можно судить о том, что для переноса монослоя на твердую поверхность желательно поддерживать давление не ниже 8 мН/м и для получения жидко-конденсированного монослоя на поверхность ванны Ленгмюра-Блоджетт требуется наносить не менее 0,7 мл дисперсного раствора NGO.

Стабильность монослоев, которая выражает возможность поддержания необходимой плотности пленки во время переноса, является также важной характеристикой любого из веществ, используемых в ЛБ технологии [13–15].

Устойчивость ленгмюровских пленок NGO на поверхности раздела фаз вода–воздух исследовалась методом слежения за площадью монослоя в течение 30 минут при постоянном поверхностном давлении. Поскольку, как было показано выше, монослои азотированного оксида графена находятся в разных фазовых состояниях на поверхности субфазы, то были выбраны следующие значения поверхностного давления: 5, 10, 20 и 35 мН/м. При $\pi = 5$ мН/м монослой находится в жидкой фазе, а при давлениях от 10 мН/м и выше — в жидко-конденсированной фазе.

Кроме того, вторым методом изучения стабильности ленгмюровских пленок является метод регистрации изменения поверхностного давления с течением времени.

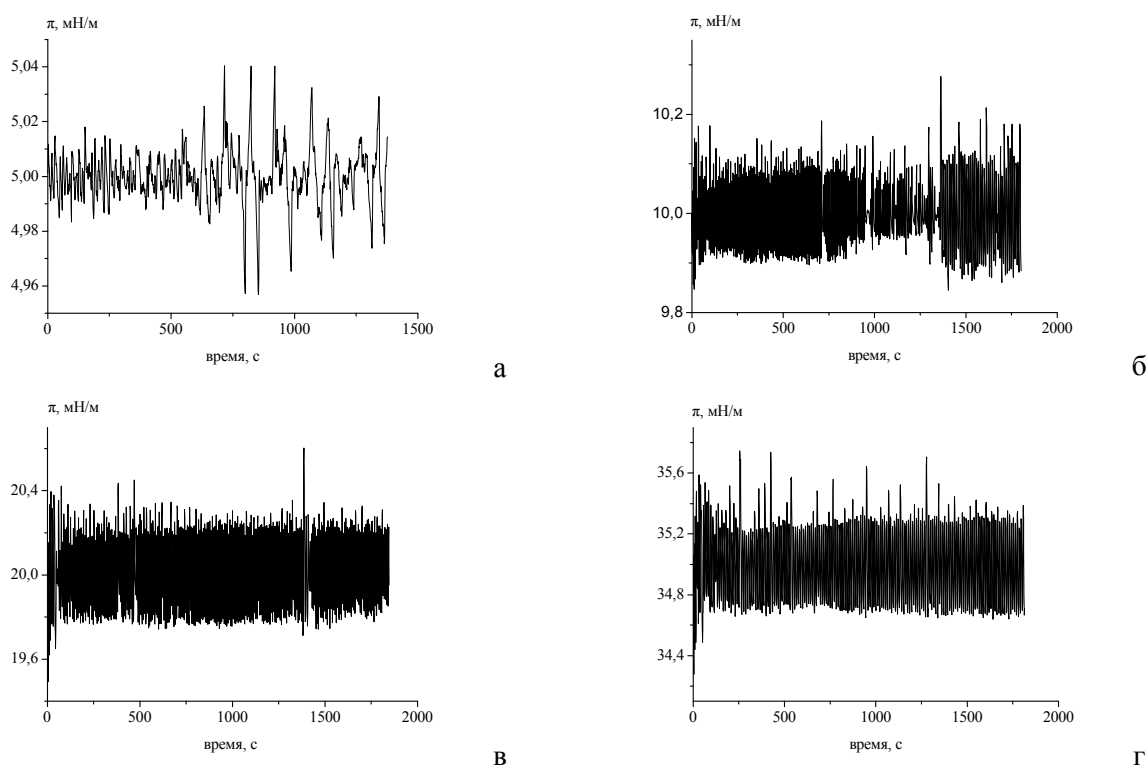


а – 5 мН/м; б – 10 мН/м; в – 20 мН/м; г – 35 мН/м

Рисунок 3. Изменения площади монослоя NGO с течением времени при постоянном поверхностном давлении

Монослои были сформированы из указанной выше дисперсии. После нанесения раствора на водную поверхность перед сжатием пленки выдерживали 30 минут для испарения растворителя с поверхности субфазы и установления термодинамического равновесия на границе раздела. Скорость движения барьеров составляла 5 мм/мин, наблюдение проводили в течение 30 минут.

На рисунке 3 представлены результаты наблюдения за изменением площади монослоя с течением времени при постоянном поверхностном давлении. Как видно из рисунка, при $\pi = 5$ мН/м в первые десять минут эксперимента площадь монослоя уменьшается (приблизительно на $0,4 \text{ см}^2$), далее площадь колеблется около среднего значения. При 10 мН/м площадь поверхности монослоя уменьшается приблизительно на 2 см^2 . При этом колебания значений поверхностного давления не превышают $0,04$ мН/м (в среднем — не более $0,02$ мН/м), $0,1$ мН/м и $0,2$ мН/м для значений $\pi = 5, 10, 20$ и 35 мН/м соответственно (рис. 4). Полученные данные свидетельствуют о высокой стабильности исследуемых монослоев [13].



а – 5 мН/м; б – 10 мН/м; в – 20 мН/м; г – 35 мН/м

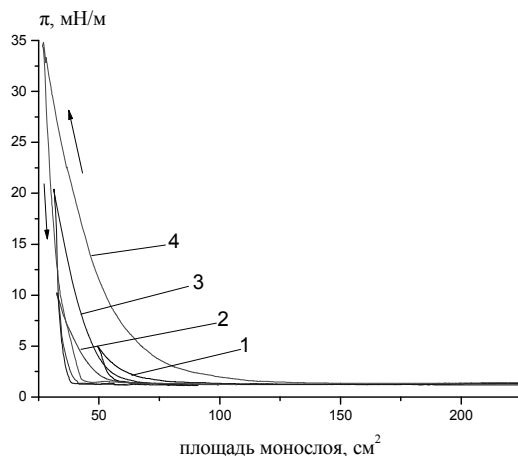
Рисунок 4. Изменения поверхностного давления монослоя NGO с течением времени при постоянной площади пленки

Также стабильность монослоев NGO была изучена с помощью измерения кривых гистерезиса. Для измерений на поверхность субфазы было нанесено одинаковое количество дисперсии NGO, равное 1,2 мл. Результаты измерений показаны на рисунке 5. Стрелками указаны направления увеличения/уменьшения поверхностного давления при поступательном и обратном движении подвижного барьера в ленгмюровской ванне.

Как видно из рисунка, рост всех кривых начинается при различных площадях монослоя. Однако часть кривых, описывающих цикл декомпрессии монослоя, совпадает почти для всех исследуемых пленок. Как видно из рисунка 5, после сжатия до 5 мН/м монослой NGO имеет площадь, равную $55 \pm 0,5 \text{ см}^2$. При сжатии пленки NGO до более высокого значения поверхностного давления площадь монослоя практически одинакова и равна $36 \pm 1 \text{ см}^2$.

Площадь монослоев была определена путем проведения касательной к соответствующему значению π исследуемой кривой и ее экстраполяции на ось абсцисс. Наблюдаемая разница в площади монослоев кривых 1 и 2–4 рисунка 5 может быть объяснена различием фазовых состояний пленки.

Далее было проведено исследование влияния количества циклов сжатия монослоев на их стабильность. Так, в работе [16] показано, что при неоднократном сжатии монослоя можно добиться необходимой плотности частиц в пленке, что, в свою очередь, влияет на структурные и оптические свойства графеновых пленок.



1 – 5 мН/м; 2 – 10 мН/м; 3 – 20 мН/м; 4 – 35 мН/м

Рисунок 5. Кривые гистерезиса сжатия монослоев NGO при различных значениях поверхностного давления

На рисунке 6 представлены кривые гистерезиса двукратного сжатия монослоев NGO до значений поверхностного давления: 5 и 35 мН/м. Данные, полученные при последующем сжатии ленгмюровской пленки, совпадают с кривыми 2-го цикла.

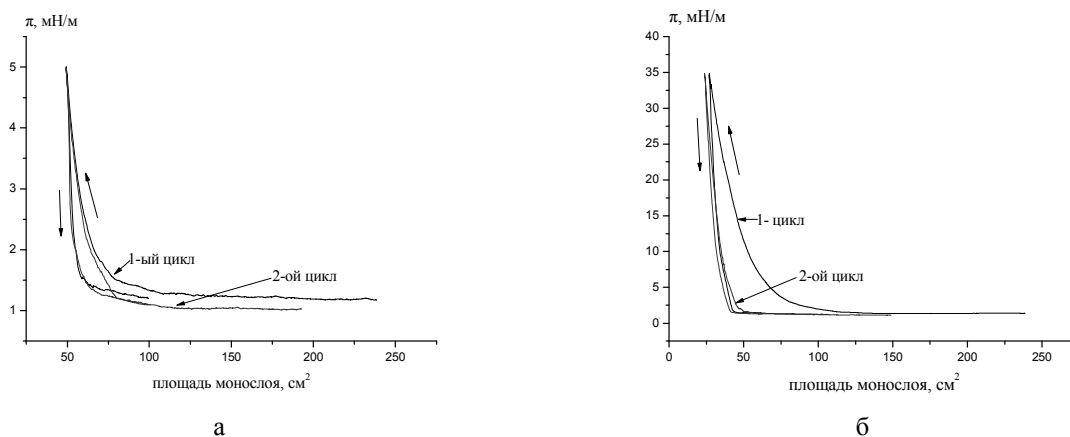


Рисунок 6. Кривые гистерезиса двукратного сжатия монослоев NGO при поверхностных давлениях, равных: (а) — 5 мН/м и (б) — 35 мН/м

Из рисунка 6 (а) видно, что количество циклов сжатия практически не влияет на площадь монослоя в жидко-растянутом состоянии, а значит, и расстояние между частицами азотированного оксида графена остается неизменным. Для монослоя, находящегося в жидко-конденсированном состоянии (рис. 6 (б)), повторное сжатие ведет к уменьшению площади пленки. Это значит, что частицы NGO находятся в состоянии равновесия с окружающей субфазой и друг с другом, следовательно, пленка стабильна и может быть перенесена на твердые подложки.

Таким образом, исследованы физико-химические свойства монослоев NGO на поверхности раздела фаз вода–воздух. Из изотерм сжатия установлено, что в диапазоне давлений от 0 до 2 мН/мм монослой находится преимущественно в газообразном состоянии. При дальнейшем сжатии пленки про-

исходит сближение частиц, и монослой переходит в жидкое состояние. Изучение стабильности ленгмюровской пленки NGO показало, что монослой в различных фазовых состояниях стабилен.

При измерении кривых гистерезиса сжатия монослоя обнаружено, что количество циклов сжатия пленки практически не влияет на площадь пленки в жидко-растянутом состоянии, значит, и состояние между частицами азотированного оксида графена остается неизменным. Для монослоя, находящегося в жидко-конденсированном состоянии, повторное сжатие ведет к уменьшению площади пленки. При этом частицы NGO находятся в состоянии равновесия с субфазой и друг с другом, что также подтверждает стабильность исследуемых монослоев. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии получения твердых графеновых пленок для нужд фотовольтаики, молекулярной электроники и в сенсорике.

Список литературы

- 1 *Li Y.F., Zhou Z., Shen P.W., Chen Z.F.* Spin Gapless Semiconductor–Metal–Half-Metal Properties in Nitrogen-Doped Zigzag Graphene Nanoribbons // *ACS Nano*. — 2009. — Vol. 3. — P. 1952–1958.
- 2 *Boukhvalov D.W., Katsnelson M.I.* Chemical Functionalization of Graphene with Defects // *Nano Lett.* — 2008. — Vol. 8. — P. 4373–4379.
- 3 *Wang X.R., Li X.L., Zhang L., Yoon Y., Weber P.K., Wang H.L., Guo J., Dai H.J.* N-doping of graphene through electrothermal reactions with ammonia // *Science*. — 2009. — Vol. 324. — P. 768–771.
- 4 *Panchakarla L.S., Subrahmanyam K.S., Govindaraj A., Krishnamurthy H.R., Waghmare U.V., Rao C.N.R.* Synthesis, Structure, and Properties of Boron- and Nitrogen-Doped Graphene // *Adv.Mater.* — 2009. — Vol. 21. — P. 4726–4730.
- 5 *Shao Y., Zhang Sh., Engelhard M.H., Li G., Shao G. et al.* Nitrogen-doped graphene and its electrochemical applications // *J. Mater. Chem.* — 2010. — Vol. 20. — P. 7491–7496.
- 6 *Zheng Q., Hing Ip W., Lin X., Yousefi N., Yeung K.K.* Transparent conductive films consisting of ultralarge graphene sheets produced by Langmuir-Blodgett assembly // *ACS NANO*. — 2011. — Vol. 5 (7). — P. 6039–6051.
- 7 *Sutar D.S., Narayanam P.K., Singh G., Botcha D.V., Talwar S.S., Srinivasa R.S.* Spectroscopic studies of large sheets of graphene oxide and reduced graphene oxide monolayers prepared by Langmuir – Blodgett technique // *Thin Solid Films*. — 2012. — Vol. 520. — P. 5991–5996.
- 8 *Cote L.J., Kim F., Huang J.X.* Langmuir-Blodgett assembly of graphite oxide single layers // *J. Am. Chem. Soc.* — 2009. — Vol. 131. — P. 1043–1049.
- 9 *Seliverstova E.V., Ibrayev N.Kh., Dzhnanabekova R.Kh.* Study of graphene oxide solid films prepared by Langmuir-Blodgett technology // *Nanosystems: Phys. Chem. Math.* — 2016. — № 7 (1). — P. 65–70.
- 10 *Gao Y., Chen X., Xu H., et al.* Highly-efficient fabrication of nanoscrolls from functionalized graphene oxide by Langmuir-Blodgett method // *Carbon*. — 2010. — Vol. 48. — P. 4475–4482.
- 11 *Адамсон А.А.* Физическая химия поверхностей. — М.: Мир, 1979. — 161 с.
- 12 *Блинов Л.М.* Физические свойства и применение ленгмюровских моно- и мультимолекулярных структур // *Успехи химии*. — 1983. — Т. 52. — Вып. 8. — С. 1263–1300.
- 13 *Арсланов В.В.* Полимерные монослои и пленки Ленгмюра-Блоджетт. Влияние химической структуры полимера и внешних условий на формирование и свойства организованных планарных ансамблей // *Успехи химии*. — 1994. — Т. 63. — № 1. — С. 5–7.
- 14 *Арсланов В.В.* Полимерные монослои и пленки Ленгмюра-Блоджетт. Политиофены // *Успехи химии*. — 2000. — Т. 69. — № 10. — С. 963–980.
- 15 *Ibrayev N., Kudaibergenov S.* Fluorescing behavior of thin solid films based on polyelectrolyte-surfactant complex and dye molecules // *J. Appl. Polym. Sci.* — 2013. — Vol. 129 (1). — P. 289–295.
- 16 *Миронов Е.П., Квачева Л.Д., Червонобродов С.П., Плотников Г.С., Букреева Т.В.* Исследование поведения частиц восстановленной окиси графена на поверхности раздела вода/воздух // *ВМУ. Серия 3*. — 2013. — № 6. — С. 7–10.

Р.Х. Джанабекова, Е.В. Селиверстова, Н.Х. Ибраев

Азот енгізілген графен оксиді моноқабаттарының физика-химиялық қасиеттерін зерттеу

Мақалада су-ауа бөлігі шекарасында азот енгізілген графен оксиді (NGO) қабыршақтарын зерттеу нәтижелері көрсетілді. Орын алған аудандағы қабыршақтардың беттік керілуінің тәуелділік қисықтары алынған. NGO моноқабатының бірқабатты графен оксиді Ленгмюр қабыршақтарымен ұқсас екені айқындалды. Құрамында азот бар графен оксиді моноқабаттарының тұрақтылығы зерттелді. Ленгмюр қабыршақтарының тұрақтылығын зерттеу нәтижесінде әр түрлі фазалық күйлерде NGO моноқабаты тұрақты екені анықталды. Моноқабаттарды қысу және кеңейту гистерезис қисықтарын өлшеу нәтижесінде қабыршақты қысу циклдар саны созылыңқы сұйық күйдегі қабыршақтың ауданына әсер етпейтіні белгілі болды. Сұйық конденсирленген күйде орналасқан қабыршақ үшін қайтадан қысу қабыршақтың ауданының кішіреюіне әкеледі. Алынған нәтижелердің негізінде NGO су бетінде тұрақты моноқабат құрайтыны және Ленгмюр-Блоджетт технологиясы бойынша қабыршақтарды алуда қолданылатыны жайлы тұжырым жасауға болады.

Кілт сөздер: азот енгізілген графен оксиді, фазалық күй, моноқабат, Ленгмюр-Блоджетт әдісі, қысу және кеңейту гистерезисі.

R.H. Dzhanabekova, E.V. Seliverstova, N.Kh. Ibrayev

The investigation of the physicochemical properties of the monolayers oxide doped with nitrogen

The paper presents the results of research of behavior of films of the graphene oxide, doped with nitrogen (NGO) formed at the interface water-air. The curves of dependence of surface tension of the films on the occupied area were obtained. It is shown that the behavior of the monolayer of the graphene oxide, doped with nitrogen, similar to the behavior of Langmuir films of the single-layer graphene oxide. The stability of the monolayers of the nitrogen-containing graphene oxide was investigated. The study of the stability of the Langmuir films showed that the NGO monolayer in different phase states is stable. In the measurement of the hysteresis curves of compression and expansion of the monolayer is found that the number of cycles of compression of the film does not affect the size of the film in the liquid-extended state. For monolayer in the liquid condensed state, repeated compression leads to a decrease in the area of film. Based on the obtained results, we can conclude that graphene oxide doped with nitrogen forms a stable monolayer on water surface and can be used to produce films by the Langmuir-Blodgett technology.

Keywords: nitrogen-doped graphene oxide, phase state, a monolayer, a Langmuir-Blodgett method, the hysteresis of the compression and expansion.

References

- 1 Li Y.F., Zhou Z., Shen P.W., Chen Z.F. *ACS Nano*, 2009, 3, p. 1952–1958.
- 2 Boukhvalov D.W., Katsnelson M.I. *Nano Lett.*, 2008, 8, p. 4373–4379.
- 3 Wang X.R., Li X.L., Zhang L., Yoon Y., Weber P.K., Wang H.L., Guo J., Dai H.J. *Science*, 2009, 324, p. 768–771.
- 4 Panchakarla L.S., Subrahmanyam K.S. Govindaraj A., Krishnamurthy H.R., Waghmare U.V., Rao C.N.R. *Adv. Mater.*, 2009, 21, p. 4726–4730.
- 5 Shao Y., Zhang Sh., Engelhard M.H., Li G., Shao G. et al. *J. Mater. Chem.*, 2010, 20, p. 7491–7496.
- 6 Zheng Q., Hing Ip W., Lin X., Yousefi N., Yeung K.K. *ACS NANO*, 2011, 5 (7), p. 6039–6051.
- 7 Sutar D.S., Narayanam P.K., Singh G., Botcha D.V., Talwar S.S., Srinivasa R.S. *Thin Solid Films*, 2012, 520, p. 5991–5996.
- 8 Cote L.J., Kim F., Huang J.X. *J. Am. Chem. Soc.*, 2009, 131, p. 1043–1049.
- 9 Seliverstova E.V., Ibrayev N.Kh., Dzhanabekova R.Kh. *Nanosystems: Phys. Chem. Math.*, 2016, 7 (1), p. 65–70.
- 10 Gao Y., Chen X., Xu H. et al. *Carbon*, 2010, 48, p. 4475–4482.
- 11 Adamson A.A. *Physical chemistry of surfaces*, Moscow: Mir, 1979, 161 p.
- 12 Blinov L.M. *Russian Chemical Reviews*, 1983, 52, 8, p. 1263–1300.
- 13 Arslanov V.V. *Russian Chemical Reviews*, 1994, 63, 1, p. 5–7.
- 14 Arslanov V.V. *Russian Chemical Reviews*, 2000, 69, 10, p. 963–980.
- 15 Ibrayev N., Kudaibergenov S. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2013, 129 (1), p. 289–295.
- 16 Mironov E.P., Kvacheva L.D., Chervonobrodov S.P., Plotnikov G.S., Bukreeva T.V. *Moscow University Physics Bulletin*, 2013, 6, p. 7–10.

L.V. Chirkova¹, K.T. Yermaganbetov¹, E.B. Skubnevsky²,
K.M. Mahanov¹, E.T. Arinova³, A. Omirbek¹

¹*Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan;*

²*Institute of Semiconductor Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia;*

³*Gymnasium № 1, Karaganda, Kazakhstan*

(E-mail: ket3853@mail.ru)

Physical processes in Gunn diode and energy balance

In article the physical processes happening in Gunn diode which is under the influence of strength electric field exceeding threshold value are analyzed. It is shown that because of transition of electrons from the lower central power area to the top side valley of a power range of arsenide of gallium carriers of a charge are divided into two groups: the «light» and «heavy» electrons having respectively big and smaller drift mobility. At the same time there is an electric domain which resistance is more than resistance of other part of Gunn diode of therefore tension of internal electric field of the diode will exceed electric field strength out of the domain. With growth of tension of external electric field falling of potential on the domain grows, and out of the domain decreases. Growth of drift speed of electrons of the electric domain and reduction of drift speed of electrons out of it is at the same time observed. Formation of the domain comes to the end when drift velocity electrons in the domain and out of it are compared. Steady state in Gunn diode is established when integral Lagrangian reaches the minimum value.

Keywords: power range, power valleys, and electron, drift velocity, integral Lagrangian, potential, electric field strength, electric domain, Gunn diode.

It is known that formation of the domain of the strong field in the environment is connected with the fluctuations of a spatial charge resulting in not stability. In the carrying-out substance for which of Ohm's law is fair fluctuation of a spatial charge fades. This attenuation under the exponential law to a constant Maxwell time of a relaxation [1]

$$\tau_m = \varepsilon / 4\pi\sigma_0 = \varepsilon / 4\pi q\mu_1 n_0, \quad (1)$$

where ε — dielectric constant of medium; σ_0 — conductivity; q — electron charge; μ_1 — electron mobility, n_0 — electron concentration.

Maxwell relaxation time can be explained as follows. The spatial charge resolves under the influence of the related field. According to Coulomb's law this interaction in inverse proportion to dielectric permeability of the environment ε . Therefore $\tau_m \approx \varepsilon$. On the other hand, the resolution of a charge occurs quicker, than conductivity of the environment is more σ_0 .

In semiconductors, as is well-known [1, 2], the fluctuations of a spatial charge causing instability do not resolve. This scientific work is connected with a research of the nature of emergence of fluctuation of a spatial charge which results in not stability on the example of Gunn diode.

In total instability in semiconductors which are in a basis of functioning of the majority of semiconductor devices, are rather well studied [3, 4]. This instability can consider as manifestation of the self-organization arising in thermodynamic nonequilibrium system.

Functioning of the diode of Gunn is connected with not stability caused by fluctuations of a spatial charge in GaAs gallium arsenide — the semiconductor which possesses a specific power range (Fig. 1).

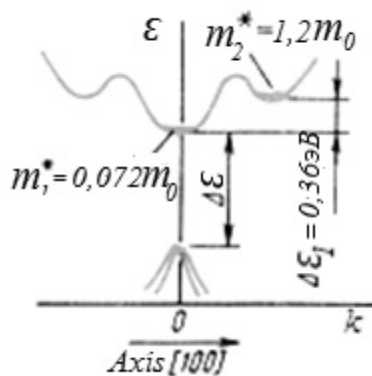


Figure 1. Structure of energy bands of gallium arsenide of GaAs in the crystallographic direction [111]

The power chart GaAs [5, 6] constructed in space of quasi pulses in the crystallographic direction [111] has several minima – several power valleys (Fig. 1). The effective mass of electrons in the central outer valley $m_1^* = 0,072m_0$ (here m_0 — electron mass) much less than the effective mass of electrons in outer valley $m_2^* = 1,2m_0$, т.е. $m_2^* \gg m_1^*$. Therefore in this semiconductor there can be electrons with various mobility $\mu_1 = \frac{q\langle\tau\rangle}{m_1^*}$ и $\mu_2 = \frac{q\langle\tau\rangle}{m_2^*}$ — «light» и «heavy» electron. The ratio between concentration of «light» и «heavy» electrons changes depending on intensity of external exciting electric field. At the same time full concentration of electrons of conductivity in the semiconductor remains invariable: $n_0 = n_1 + n_2$. It results in some features of transfer of a charge via the semiconductor which are the cornerstone of the principle of operation of Gunn diode.

Gunn diode represents a sample of gallium arsenide of GaAs or InP indium phosphide of n-type. If to put electric field to a sample E , which is more than some threshold value then in a sample E_{nop} to a sample there is an area of strong electric field (domain) drifting from the cathode to the anode and disappearing at the anode. This process periodically repeats. And when forming the domain current decreases, and at disappearance — again increases.

In Gunn diode near areas of the anode and cathode there are always defects (Fig. 2). Local electric field E strength near defects can exceed threshold tension $E > E_{nop}$ electric field. Increase in energy of the electrons which appeared in these areas is as a result possible, and they will be able to pass into an overlying side minimum. A part of the energy received by electrons from an external source will be transformed to thermal energy, i.e. there is energy dissipation.

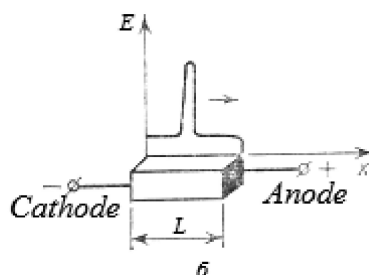


Figure 2. Gunn sample — the uniform semiconductor material GaAs with two ohmic contacts and high-quality distribution of the field along a sample [2]

The electrons which passed into a side overlying minimum of a power range from the category of «light» will pass into the category of «heavy». Thus, reduction of number of «easy» electrons will be fol-

lowed by increase in number of «heavy» electrons, i.e. the coordinated behavior of subsystems of these two classes of electrons will take place. In the considered system the self-organization process caused by feature of power structure of the semiconductor will proceed. Speed of drift of «light» electrons to the anode is more than the speed of drift of «heavy» electrons. As a result in the neighborhood of defect from the cathode because of a congestion of «heavy» electrons the negatively charged layer is created, and from the anode because of a lack of electrons there is a layer positively charged the donor impurity. The new structure — the domain consisting of two layers is created: the negatively charged layer formed from the cathode by surplus of «heavy» electrons, and from the anode — the positively charged layer formed by ions the donor impurity (Fig. 3).

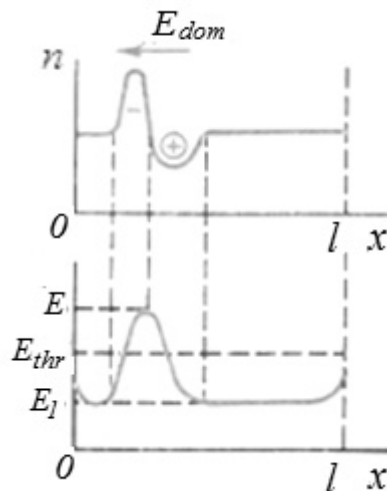


Figure 3. Distribution of concentration of electrons and electric field strength in a crystal after formation of the domain [5]

Thus, during process of self-organization in the considered system there are more complex and more perfect structures.

Resistance of a domain layer determined by the movement of «heavy» electrons exceeds resistance of other part of Gunn diode determined by the movement of «light» electrons.

The direction of electric field of the domain E_{dom} coincides with the direction of the exciting field attached to the semiconductor. Therefore, with a growth of the external field, in process of formation of the domain the field grows in it, and outside the domain decreases. It leads to increase in drift speed of «heavy» electrons in the domain and to reduction of drift speed of «light» electrons beyond its limits, i.e. the coordinated course of processes in system is again observed. In some time point the drift speed of the movement of «heavy» electrons of $v_{m.op}$, that is speed of the movement of the domain, will appear the equal drift speed of the movement of «light» electrons $v_{l.op}$:

$$v_{l.op} = v_{m.op} \quad (2)$$

As a result of it process of formation of the electric domain will end, and it will begin to move from the cathode to the anode.

It is obvious that the speed of drift of "easy" electrons will be less than the speed of drift of electrons for lack of the electric domain $v_{l.op} < v_0$, as electric field strength out of the domain E_1 less tension of the field in the absence of the domain E_0 : $E_1 < E_0$. Therefore after formation of the domain density of current decreases up to the value

$$J_{min} = qn_0 v_{l.op} \quad (3)$$

The minimum value of density of current through a crystal remains during time of the movement of the domain through a crystal or during time of its flight from the cathode to the anode

$$t_{пол} = l/v_{l.op} \quad (4)$$

where l — crystal length.

At achievement of the anode the domain disappears and density of current increases up to value I_{max} , of the domain corresponding to absence. After that at the cathode the new domain is formed, and process repeats (Fig. 4)

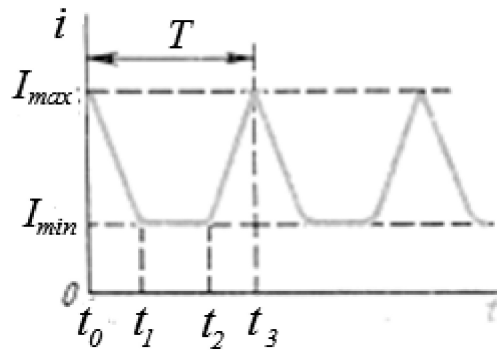


Figure 4. Dependence of the current passing through Gunn diode from time: t_0 — time point corresponding to the beginning of formation of the domain; t_1 — time point corresponding to the end of formation of the domain; t_2 — time point corresponding to the beginning of disappearance of the domain on the anode; t_3 — time point corresponding to total disappearance of the domain on the anode and to origin of the second domain on the cathode [5]

The considered mechanism of operation of the device with intervalley transition of electrons corresponds to a transit time [6, 7]. Electric field in the domain grows in this mode during its formation, and outside the domain decreases. For this reason only one domain as transition of electrons in side can come from the central valley only in the domain where totals electric field strength exceeds threshold value can be formed.

Transit time of the domain from the cathode to the anode has to exceed time of its formation otherwise the domain will not manage to be created. Therefore the condition of emergence of the electric domain in Gunn diode will have an appearance:

$$t_{прол} = l/v > \epsilon_0 \epsilon \rho, \text{ или } n_0 l \gg \epsilon_0 \epsilon v / (q \mu_2). \quad (5)$$

Let's consider balance of energy in Gunn's diode in the presence of the electric domain.

Formation of the electric domain leads to the following changes in structure of Gunn diode and his volts — the ampere characteristic:

- out of the domain there are areas where transfer of a charge is carried out by «light» electrons n_1 , drift with a velocity $v_{лдр}$, and area in the domain where the charge is transferred by the «heavy» electrons drifting with a speed $v_{мдр}$ which is less, that $v_{лдр}$, that is $v_{мдр} < v_{лдр}$;

- resistance of area of the electric domain will exceed resistance of other part of the semiconductor of the diode of Gunn out of the domain. Therefore power failure on the domain $U_{внут}$ will be more, than voltage drop on other part of the diode $U_{вне}$ out of the domain: $U_{внут} > U_{вне}$;

- currents proceeding on the domain $I_{внут}$ and out of $I_{вне}$ it will be various: $I_{внут} < I_{вне} < I_a$.

Let's analyzed balance of energy in Gunn's diode in case of formation of the electric domain.

Let tension be attached to the diode U_a . In case of lack of the electric domain in the diode current will proceed I_a .

The processes happening in Gunn's diode have several temporary characteristics:

- time of a relaxation of «light» electrons $\tau_{рел} = \frac{m_l \mu_l}{q}$;

- average time of drift $\tau_{лдр}$ of «light» electrons with a speed $v_{лдр}$: $\tau_{лдр} = l/v_{лдр}$, in the presence of the electric domain;

- average time of drift $\tau_{адр} = l/v_{адр}$ of «light» electrons with a speed $v_{адр}$, when the electric domain is absent.

Average speed of drift of electrons of v_a on the diode for lack of the domain is more than average speed of drift of $v_{\text{лдр}}$ electrons in the presence of the domain, i.e. the average time of drift of electrons of τ_a in lack of the domain is less, than the average time of drift is $\tau_{\text{лдр}}$ in presence of domain.

Between average times of drift of electrons via the diode at absence in it the electric domain $\tau_{\text{адр}}$ and in presence of electric domain $\tau_{\text{лдр}}$ and in presence of electric domain:

$$\frac{\tau_{\text{адр}}}{\tau_{\text{лдр}}} = \frac{v_{\text{лдр}}}{v_{\text{адр}}} = \frac{E_{\text{вне}}}{E_a} = \frac{U_{\text{вне}}}{U_a}. \quad (6)$$

Power $I_a U_a$, arriving from an external source to Gunn diode, after formation of the electric domain will be distributed as follows:

- a part of power of $(I_a - I_{\text{вне}})U_a$ will be spent for formation of the domain;
- a part of power of $I_{\text{вне}}U_{\text{вне}}$ will be allocated out of the domain;
- and part of power of $I_{\text{внут}}U_{\text{внут}}$ — will be allocated in the domain and it will be spent for overcoming resistance of the environment at the movement of the domain from the cathode to the anode.

If to neglect losses on thermal energy, then according to the law of energy conservation equality will take place

$$U_a I_a = I_{\text{внут}} U_{\text{внут}} + I_{\text{вне}} U_{\text{вне}} + (I_a - I_{\text{вне}}) U_a, \quad (7)$$

where $U_d = U_a - U_{\text{вне}}$ — tension on the domain, $I_a = eN/\tau_{\text{адр}}$ — current via Gunn diode in absence of electric domain.

Having increased both parts of equality of (7) for the period of $\tau_{\text{лрел}}$, we will receive balance of energy in the range of time, corresponding to the average time of a relaxation of the $\tau_{\text{лрел}}$ electrons

$$W_N = W_{\text{пер}} + W_{\text{вне}} + W_{\text{рдом}}, \quad (8)$$

where W_N — energy transferred by a source to Gunn diode during a relaxation $\tau_{\text{лрел}}$; $W_{\text{вне}}$ — energy, received by electrons out of the electric domain; $W_{\text{пер}}$ — energy spent by the domain for overcoming resistance of the environment, that is the energy concluded in the domain; $W_{\text{рдом}}$ — energy, spent for formations of the domain - potential energy of the domain. Let's find expressions for each component of energy in (8).

For lack of the electric domain during the free run of $\tau_{\text{лрел}}$ between collisions the energy equal will be reported to Gunn diode

$$W_N = I_a U_a \tau_{\text{лрел}} = (-qN/\tau_a) U_a \tau_{\text{лрел}} = -qNU_a \frac{\tau_{\text{лрел}}}{\tau_{\text{адр}}}. \quad (9)$$

The energy received from an external source during a relaxation by $\tau_{\text{лрел}}$ electrons which are out of the domain will be equal

$$W_{\text{вне}} = I_{\text{вне}} U_{\text{вне}} \tau_{\text{лрел}}. \quad (10)$$

Considering ratios of (6) and $I_{\text{вне}} = I_a \frac{U_{\text{вне}}}{U_a} = I_a \frac{E_{\text{вне}}}{E_a}$, $U_{\text{вне}} = U_a \cdot \frac{U_{\text{вне}}}{U_a} = U_a \cdot \frac{E_{\text{вне}}}{E_a}$, equality (10) it is possible to lead to the following look

$$W_{\text{вне}} = I_{\text{вне}} U_{\text{вне}} \tau_{\text{лрел}} = I_a U_a \tau_{\text{лрел}} \frac{E_{\text{вне}}^2}{E_a^2} = -\frac{qN}{\tau_a} U_a \frac{E_{\text{вне}}^2}{E_a^2} \tau_{\text{лрел}} = -qNU_a \frac{E_{\text{вне}}^2}{E_a^2} \frac{\tau_{\text{лрел}}}{\tau_{\text{адр}}} = W_N \frac{E_{\text{вне}}^2}{E_a^2}. \quad (11)$$

This part of energy during dispersion of electrons on a crystal lattice turns into thermal energy. The energy spent for formation of the domain during a relaxation of $\tau_{\text{лрел}}$, that is the potential energy of electrons in the domain which is saved up in an interval between collisions with phonons can be presented how

$$\begin{aligned}
W_{\text{рдом}} &= (I_a - I_{\text{вне}}) U_a \tau_{\text{лрел}} = I_a \left(1 - \frac{E_{\text{вне}}}{E_a} \right) U_a \tau_{\text{лрел}} = -\frac{qN}{\tau_a} \left(1 - \frac{E_{\text{вне}}}{E_a} \right) U_a \tau_{\text{лрел}} = -qN U_a \left(1 - \frac{E_{\text{вне}}}{E_a} \right) \frac{\tau_{\text{лрел}}}{\tau_a} = \\
&= W_N \left(1 - \frac{E_{\text{вне}}}{E_a} \right). \tag{12}
\end{aligned}$$

The energy spent by the domain for overcoming resistance of the environment at its movement from the cathode to the anode is equal

$$W_{\text{неп}} = I_{\text{вне}} U_a \tau_{\text{лрел}} = I_a \frac{U_{\text{вне}}}{U_a} (U_a - U_{\text{вне}}) \tau_{\text{лрел}} = -\frac{qN}{\tau_a} U_a \frac{U_{\text{вне}}}{U_a} \left(1 - \frac{U_{\text{вне}}}{U_a} \right) \tau_{\text{лрел}} = -qN U_a \frac{E_{\text{вне}}}{E_a} \left(1 - \frac{E_{\text{вне}}}{E_a} \right) \frac{\tau_{\text{лрел}}}{\tau_a}. \tag{13}$$

Having divided both parts of equality (8) into full number of electrons of conductivity in Gunn diode of particles of N , we will define the energy received by each electron from a source during the average time of a relaxation $\tau_{\text{лрел}}$

$$w_N = w_{\text{вне}} + w_{\text{неп}} + w_{\text{рдом}}. \tag{14}$$

In equality (14) composed by $w_{\text{вне}}$ defines the kinetic energy of the chaotic movement of electrons out of the domain turning into thermal energy. It determines the size of an integral Lagrangian [4–7]

$$\Lambda_{\text{min}} = m_1 \left(U_{\text{лдр}}^2 \right)_{\text{min}} = \left(w_{\text{вне}} \right)_{\text{min}} = \left(w_N - w_{\text{неп}} - w_{\text{рдом}} \right)_{\text{min}}. \tag{15}$$

According to expressions (11) and (12) with growth strengths of electric field to E_a , attached of Gunn diode, $w_{\text{рдом}}$ grow and $w_{\text{вне}}$ decreases. In other words, with growth of tension at $E > E_{\text{крит}}$ in *GaAs* the electric domain will begin to be formed. Due to redistribution of number of «light» and «heavy» electrons the number of «heavy» electrons will increase and to decrease at the same time number of «light». It will be followed by reduction of average kinetic energy of «light» electrons. At establishment of steady state of the diode integral Lagrangian (15) will accept the minimum value [8,9]. Thus, the main mechanisms of self-organization of electrons in Gunn diode under the influence of external electric field of $E > E_{\text{крит}}$ are:

- emergence of the «heavy» electrons connected with features of a power range of *GaAs*;
- increase in number of «heavy» electrons due to reduction of number of «light»;
- growth of potential energy of «heavy» electrons due to reduction of kinetic energy of the chaotic movement of «light» electrons;
- reduction of the integral Lagrangian corresponding to electrons of Gunn diode to a minimum.

References

- 1 Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия. — М.: Мир, 1991. — 632 с.
- 2 Левинштейн М.Е., Пожела Ю.К., Шур М.С. Эффект Ганна. — М.: Сов. радио, 1975. — 288 с.
- 3 Шелль Э. Самоорганизация в полупроводниках. Неравновесные фазовые переходы, обусловленные генерационно-рекомбинационными процессами: Пер. с англ. — М.: Мир, 1991.
- 4 Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках / В.Л. Бонч-Бруевич, И.П. Звягин, А.Г. Миронов. — М.: Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1972.
- 5 Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. — М.: Высш. шк., 1987.
- 6 Усыченко В.Г. Самоорганизация электронов в электронных приборах // Журнал технической физики. — 2004. — Т. 74. — Вып. 11. — С. 38–46.
- 7 Усыченко В.Г. Энтропия, информация и сложность стационарных состояний открытых систем, не удовлетворяющих принципу локального равновесия // Журнал технической физики. — 2005. — Т. 75. — Вып. 5. — С. 19–27.
- 8 Усыченко В.Г. Самоорганизация электронов в электронных приборах в свете принципов механики и термодинамики // Журнал технической физики. — 2006. — Т. 76. — Вып. 4. — С. 17–27.
- 9 Усыченко В.Г. Электронная синергетика. Физические основы самоорганизации и эволюции материи: Курс лекций. — СПб.: Лань, 2010 с.: ил. — (Учебники для вузов. Спец. литература).

Л.В. Чиркова, К.Т. Ермаганбетов, Э.В. Скубневский,
К.М. Маханов, Е.Т. Аринова, А. Омирбек

Ганн диодындағы физикалық процестер және энергия балансы

Шамасы шектік кернеуден артық сыртқы кернеудің әсерінен Ганн диодында жүретін физикалық үдерістер талданған. Арсенид галлий шалаөткізгішінің төменгі орталық энергия өлкесінен жоғары бүйірде орналасқан энергия өлкесіне көшу нәтижесінде электрондар қозғалғыштықтары әр түрлі — үлкен және кішіге — бөлінетіндігі көрсетілген. Кедергісі шалаөткізгіштің басқа бөлігінің кедергісінен үлкен электр домені пайда болатындығы айтылған. Электр доменіндегі кернеудің төмендеуі оның сыртындағы өңірдегі кернеудің төмендеуінен артық болады. Сыртқы кернеу артқанда домендегі кернеудің төмендеуі өсіп, оның сыртындағы өңірде кернеу азаяды, нәтижесінде домендегі электрондардың ығу жылдамдығы артады, ал сыртқы өңірдегі электрондардың ығу жылдамдығы төмендейді. Доменнің ішіндегі электрондардың орташа ығу жылдамдығы сыртқы электрондардың орташа ығу жылдамдығымен теңескенде домен толығымен қалыптасады. Ганн диодында орныққан күй орнағанда интегралдық лагранжиан ең аз мән қабылдайтындығы көрсетілген.

Кілт сөздер: энергетикалық спектр, энергетикалық алқабы, электрон, дрейфті жылдамдық, лагранжиан, интеграл, әлеует, электр өрісінің кернеулігі, электр домен, Ганн диоды.

Л.В. Чиркова, К.Т. Ермаганбетов, Э.В. Скубневский,
К.М. Маханов, Е.Т. Аринова, А. Омирбек

Физические процессы в диоде Ганна и баланс энергии

В статье рассмотрены физические процессы, происходящие в диоде Ганна, находящемся под действием внешнего электрического поля, превышающего пороговое значение. Показано, что из-за перехода электронов из нижней центральной энергетической зоны в верхнюю боковую долину энергетического спектра арсенида галлия носители заряда делятся на две группы: «легкие» и «тяжелые» электроны, обладающие большими и меньшими подвижностями. Образуется электрический домен, сопротивление которого превышает сопротивление остальной части диода Ганна. В результате напряженность внутреннего электрического поля диода будет превышать напряженность электрического поля вне домена. С ростом напряженности внешнего поля падение потенциала на области домена растет, а вне домена уменьшается. С ростом напряженности внешнего электрического поля дрейфовая скорость электронов домена растет, в то время как дрейфовая скорость электронов вне домена уменьшается. Когда дрейфовые скорости электронов в домене и вне его сравниваются, формирование домена завершается. Показано, что в диоде Ганна устанавливается стационарное состояние, когда интегральный лагранжиан принимает минимальное значение.

Ключевые слова: энергетический спектр, энергетические долины, электрон, дрейфовая скорость, лагранжиан, интеграл, потенциал, напряженность электрического поля, электрический домен, диод Ганна.

References

- 1 Schur M. *Modern devices on the basis of gallium arsenide*, Moscow: Mir, 1991, 632 p.
- 2 Levinshtein M.E., Pozhela Yu.K., Shur M.S. *Gunn effect*, Moscow: Sovetskoe radio, 1975, 288.
- 3 Shell E. *Self-organization in semiconductors. The nonequilibrium phase transitions caused generatsionno-recombinational processes*, the lane with English, Moscow: Mir, 1991.
- 4 *Domain electric instability in semiconductors*. V.L. Bonch-Bruyevich, I.P. Zvyagin, A.G. Mironov, Moscow: main edition of physical and mathematical literature of Nauka publishing house, 1972.
- 5 Pasyukov V.V., Chirkin L.K. *Semiconductor devices*, Moscow: Vysshaya shkola, 1987.
- 6 Usyuchenko V.G. *Journal of Technical Physics*, 2004, 74, 11, p. 38–46.
- 7 Usyuchenko V.G. *Journal of Technical Physics*, 2005, 75, 5, p. 19–27.
- 8 Usyuchenko V.G. *Journal of Technical Physics*, 2006, 76, 4, p. 17–27.
- 9 Usyuchenko V.G. *Electronic synergetics. Physical bases of self-organization and evolution of matter: Lecture course*, Saint Petersburg: Lan, 2010 pages: silt. — (Textbooks for higher education institutions. Special literature).

D.A. Afanasyev¹, Zh.K. Aitymov¹, B.R. Ilyassov², N.Kh. Ibrayev¹

¹*Institute of Molecular Nanophotonics, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan;*

²*Laboratory of Solar Energy, PINLA, Nazarbayev University, 010000 Astana, Kazakhstan
(E-mail: a_d_afanasyev@mail.ru)*

Comparison of luminescence properties of ZnO nanorods, obtained by hydrothermal method and pulse electrochemical method

Influence of the method of synthesis of ZnO rods on their microstructure and spectral-luminescent properties was studied in the work. Pulsed electrochemical and hydrothermal methods were used. The films with a similar value of thickness both methods have been obtained. The diameter of the rods obtained by the hydrothermal method is much smaller than the diameter of rods obtained by the electrochemical method. It is seen from microscopic measurements. X-ray diffraction was measured for ZnO films obtained by pulsed electrochemical method. Crystalline ZnO films with a wurtzite structure are obtained both by hydrothermal and pulsed electrochemical methods. The absorption and fluorescence spectra were measured for the samples. Bandgaps of films are determined from the absorption spectra. Edge luminescence in the ultraviolet region of the spectrum, having an exciton nature and defect luminescence in the visible spectral region is observed in the luminescence spectra of films. Analysis of the absorption and luminescence spectra showed that defectiveness ZnO film make by the electrochemical method is significantly higher film defects make by hydrothermal method.

Keywords: thin film of ZnO, absorption spectrum, luminescence, hydrothermal synthesis, pulse electrochemical synthesis, defectiveness.

Introduction

Despite of long and comprehensive investigations, zinc oxide (ZnO) based materials are in scope of interest of many groups of researchers. This interest connected with its unique optical, electrical and acoustical properties. Distinctive feature is also the number of synthesized nanonstructures on the basis of zinc oxide [1]. There are many investigations, with proposal to use semiconductor properties of zinc oxide in different devices of electronic and optoelectronic techniques [2, 3].

The development of synthesis methods is important for its applied use, which allows receiving materials with specified properties with high economical effectiveness. Methods of precursor precipitation on the water basis, mechanochemical methods are low cost and therefore, potentially high effective. At present time hydrothermal synthesis is intensively developing to produce zinc oxide nanorods [4, 5]. The directed change of properties and morphology of material is possible by selecting the parameters of hydrothermal synthesis.

In the last decade the impulse electrochemical deposition became an important method of receiving nanonstructured ZnO arrays thanks to its technological efficiency, possibility of deposition on big surfaces, cost effective ratio, quality of layer and low temperature of synthesis compared to other methods. As author mentions [6–10] morphology and thickness of arrays in this method, and also its crystal structure and physical-chemical properties can be easily controlled by setting the parameters of deposition, like density of flows and electrode potential, structure and temperature of solution, time of electro-deposition.

Structure, morphology and properties of oxide zinc substantially depend on conditions and technology of its receipt. For applied use of oxide zinc [10] it is relevant to receive rod structure with rod diameter from 50 to 500 nm. Such a structure will be used as a material for excitons and free charge carriers. Method of production will substantially influence on optical and electrophysical properties of received ZnO rods. Therefore in this work investigation of spectral-luminescence properties of ZnO nanorods, received by hydrothermal and impulse electrochemical methods was carried.

Methodology of research

Impulse electrochemical method. The production of oxide zinc nanorods arrays was carried by method of cathode electrochemical deposition in the three electrode electrochemical cell with water electrolyte, that contains 0,1 M NaNO₃ and 0,05M Zn(NO₃)₂, temperature $t = 70^{\circ}\text{C}$, without mechanical shaking of the solution. As a substrate the glass wafers were used, covered transparent electrically conductive layers alloyed fluorine tin oxide (FTO) by Sigma-Aldrich. Graphite rod was counter electrode, reference electrode — saturated silver-chlorine half-cell electrode Ag/AgCl.

Potentiostat-galvanostat Elins J-30 was used to carry impulse tension. Substrate - cathode was supplied with square wave potential, where the lower limit for samples was $U_{off} -0.8$ and upper limit U_{on} was -1.4 (the potentials are relate to Ag/AgCl). Pulse duty cycle factor was 2.5. Pulse frequency f remained constant and equal to 2 Hz.

Hydrothermal method. Synthesis of ZnO nanorods by hydrothermal method consisted of two stages. The first stage - drawing of the seed layer and the second stage — the synthesis of nanorods on a substrate with the seed layer by hydrothermal deposition. The second stage is the deposition of nanorod arrays.

Application of ZnO seed layer. Zinc acetate dihydrate ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$, Sigma Aldrich) and monoethanolamine (C_2H_7NO , Sigma Aldrich) were dissolved sequentially in isopropyl alcohol. The concentration of both zinc and monoethanolamine acetate in prepared solution was 0,5 M. The solution was applied to pre-cleaned glass substrate coated with a conductive layer of tin-doped indium oxide (ITO). The centrifuge method (spin-coating) at a substrate speed of rotation of 2000 r/min was repeated 4 times. Next, the substrate annealed in a muffle furnace at 450 °C for 60 minutes to form a ZnO structure. ZnO nanorod arrays synthesized on ITO substrates precoated ZnO seed layer from an equimolar aqueous solution of zinc nitrate ($Zn(NO_3)_2$, Sigma Aldrich) and hexamine ($C_6H_{12}N_4$, Sigma Aldrich) for 10 hours. The initial concentration of the solution, and the synthesis temperature was 25 mM and 90 °C. Every 2 hours samples were washed in deionized water and placed in a fresh solution. After completion of the synthesis, ZnO grown arrays were washed repeatedly with deionized water, dried, and annealed at 400 °C for 1 hour.

The crystal structure of the films was analyzed after measurements on the X-ray diffractometer X-Pert MPD PRO (PANalytical) and Drone 2. The morphology of the samples was investigated by the scanning electron microscope with cathode Schottky Mira-3 (Tescan).

Absorption and luminescence spectra of the films are measured to the resulting films. Registration of the absorption spectra of the films was carried out using a spectrophotometer Agilent Cary 300. The fluorescence spectra were measured on a spectrofluorimeter Cary Eclipse.

Results and discussion

Thickness and rod size of the synthesized films was investigated. In the film obtained by the hydrothermal method within 10 hours, thickness was 2.9 microns. The appearance of the rods is shown in Figure 1. The average diameter of the rods was 150 nm. In the case of using a pulse electrochemical method, film thickness was 2.82 micrometers and was achieved by 2 hours synthesis. The average diameter of the rods was 660 nm. In the case of hydrothermal method — the size of the synthesized ZnO rods is less than the electrochemical method. However, the rate of synthesis of the film is higher with use of electrochemical synthesis method.

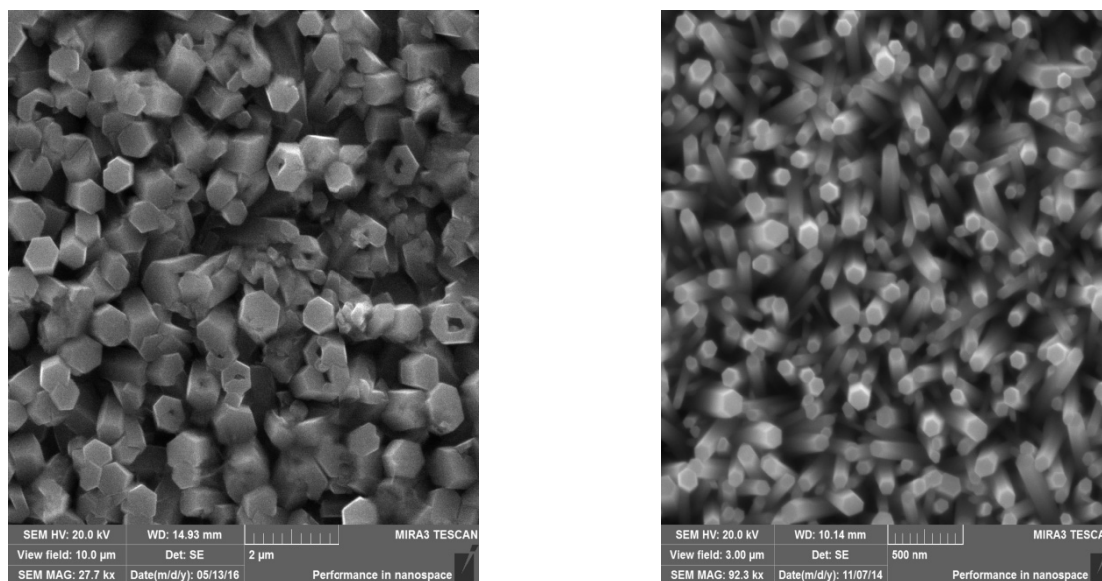


Figure 1. SEM-images samples obtained pulse electrochemical (left) and the hydrothermal method (right)

Investigation of the films synthesized crystalline structure was conducted. The data on the properties of ZnO films prepared by the hydrothermal method described in our previous work [11]. ZnO film deposited on conductive coating of ITO (indium tin oxide) in the case of the electrochemical method. Therefore, in the present diffraction spectra was reflexes associated with indium tin oxide. X-ray diffraction for the sample coated with ITO to exclude those measured from X-ray diffraction data of ZnO films. Analysis of these measurements showed the presence of only the reflexes of tin oxide (SnO_2). Continued consideration of the data showed that the peaks is not related to SnO_2 , belong to the hexagonal wurtzite phase of ZnO, with good agreement with the standard values of d (JCPDS No. 36-1451) [12].

Other phases, Zn or other oxides besides ZnO phase weren't recorded on X-ray diffraction data. This confirms that crystalline films of ZnO obtained by electrochemical deposition method (Table).

Table

Data of x-ray analysis of ZnO films obtained by pulse electrochemical method

2θ (degrees)	hkl	Calculated values dhkl (\AA)	Values dhkl (\AA) on the basis of JCPDS
18,60	100	2,816	2,8179
20,10	002	2,602	2,6049
21,20	101	2,476	2,4786
27,90	102	1,911	1,9128
33,50	110	1,626	1,6269
37,25	103	1,477	1,4784
40,50	112	1,379	1,3799

Absorption and luminescence spectra were measured for the obtained films. The absorption spectra of the films are shown in Figure 2. The optical density films (D) produced by different methods and measured at 380 and 800 nm has similar values. The optical density of films differs significantly in the blue-green part of the spectrum. The size of the band gap (E_g) ZnO is calculated for the obtained films. A smaller value of E_g calculated for ZnO films obtained by an electrochemical method, compared with the published data [13]. This can be explained by the high defectiveness of the films. Indirect evidence of this is the shape of the absorption curve 2 shown in Figure 2. The technique given in [14] was used for the calculations. The value of E_g was 3.3 eV for the film obtained by the hydrothermal method, and 3.175 eV for the film obtained pulse electrochemical method.

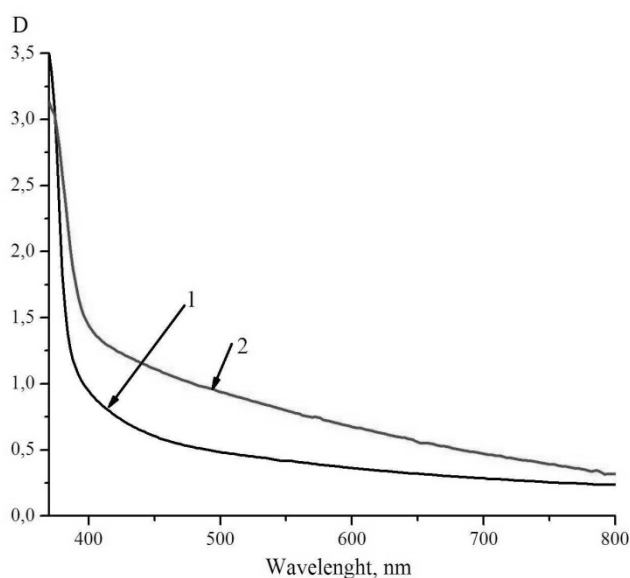


Figure 2. Absorption spectra of the nanorods obtained by electrochemical pulse method (1) and the hydrothermal method (2)

Also luminescence spectra of ZnO films have measured. Comparative analysis of the luminescence spectra of the nanorods (Figure 3) obtained by the hydrothermal method and electrochemical methods

carried out. The ratio between values of the maximum amplitude of the luminescence intensity band in the visible area of light-spectrum (I_{VA}) and the of the maximum value of edge luminescence amplitude in the shortwave area of light-spectrum I_{UV} has often been compared to determine the crystallinity of the ZnO nanostructures.

Defectiveness films obtained by pulsed electrochemical method is more than the film obtained by the hydrothermal method. It follows from the luminescence spectra of ZnO films. Ratio between I_{VA}/I_{UV} was 0.55 for the electrochemical films and 0.13 for hydrothermal films.

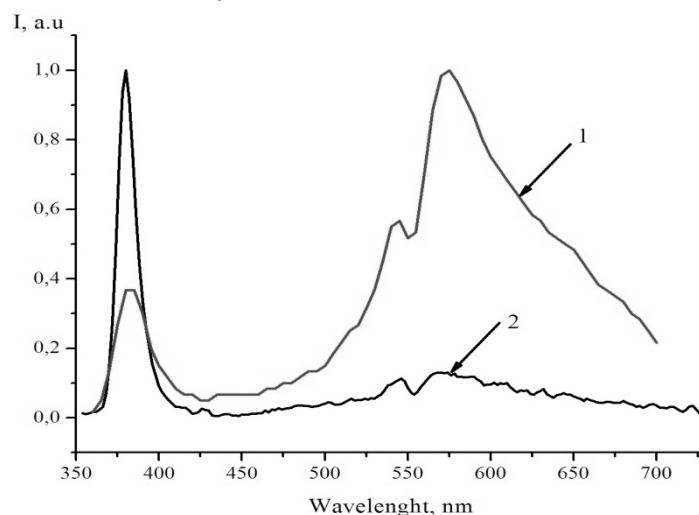


Figure 3. Luminescence spectra of nanorods obtained pulse electrochemical (a) and hydrothermal method (b)

Conclusions

Rods of ZnO synthesized by hydrothermal methods and pulse electrochemical synthesis as a result of the work done. The crystal structure and morphology of ZnO films was investigated. The resulting films have good crystallinity and all the peaks correspond to the hexagonal lattice ZnO, wurtzite structure. The absorption and fluorescence spectra were measured for ZnO films. Bandgaps of films are determined from the absorption spectra. The edge luminescence in the ultraviolet region of the spectrum, which has an exciton nature and defect luminescence in the visible spectral region are observed in the luminescence spectra of the produced films.

The value of the maximum intensity of the luminescence band in the visible region to the value of the peak amplitude of the edge luminescence band (CRL) in the short-wave region were compared. The comparison showed that the nanorods obtained by the pulsed electrochemical method have a more defective structure than the rods obtained by the hydrothermal method. These data are confirmed by the analysis of the absorption spectra and fluorescence spectra. The results of the work show that using different methods of synthesis it is possible to obtain ZnO films with different geometrical properties and defectiveness.

References

- 1 Djuricic A.B., Leung Y.H. Optical properties of ZnO nanostructures // *Small*. — 2006. — № 2. — P. 944–961.
- 2 Özgür Ü., Alivov Ya.I., Liu C. A comprehensive review of ZnO materials and devices // *J. Appl. Phys.* — 2005. — Vol. 98 (4). — P. 041301–041309.
- 3 Triboulet R., Perriere J. Epitaxial growth of ZnO films // *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.* — 2003. — Vol. 47. — P. 65–138.
- 4 Zafar H.I., Kimleang K., Xianjie L., Magnus W. Hydrothermal synthesis of nanoclusters of ZnS comprised on nanowires // *Nanomaterials*. — 2013. — Vol. 3. — P. 564–571.
- 5 Feng H., Hengzhong Z., Jillian F. Banfield. Two-stage crystal growth kinetics observed during hydrothermal coarsening of nanocrystalline ZnS // *Nano Letters*. — 2003. — Vol. 3. — P. 373–378.
- 6 Skompska M., Zarebska K. Electrodeposition of ZnO nanowire arrays on transparent conducting substrates // *Electrochim. Acta*. — 2014. — Vol. 127. — P. 467–488.
- 7 Arslan A., Hür E., Ilican S., Caglar Y., Caglar M. Controlled growth of c-axis oriented ZnO nanorod array films by electrodeposition method and characterization // *Spectrochim. Acta A*. — 2014. — Vol. 128. — P. 716–723.

- 8 Klochko N.P., Myagchenko Y.O., Melnychuk E.E., Kopach V.R., Klepikova E.S., Lyubov V.N., Khrypunov G.S., Kopach A.V. Prospects for the pulsed electrodeposition of zinc-oxide hierarchical nanostructures // Semiconductors. — 2013. — Vol. 47. — P. 1123–1129.
- 9 Dimova-Malnovska D., Andreeva P., Sendova-Vassileva M., Nicheva H., Starbova K. Preparation of ZnO nanowires by electrochemical deposition // Energ. Procedia. — 2010. — Vol. 2. — P. 55–58.
- 10 Djuricic A.B., Chen X.Y. ZnO nanostructures for optoelectronics: Material properties and device applications // Progress in quantum electronics. — 2010. — Vol. 34. — P. 191–259.
- 11 Ilyassov B.R., Ibrayev N.Kh. Synthesis of nanostructured films of zinc oxide and a study of its structural and luminescent properties // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2016. — Vol. 110. — P. 1–4.
- 12 Afify H.H., EL-Hefnawi S., Eliwa A., Abdel-Naby M., Ahmed N. Realization and characterization of ZnO/n-Si solar cells by spray pyrolysis // Egypt. J. Solids. — 2005. — Vol. 76. — P. 243–254.
- 13 Родных П.А., Ходюк И.В. Оптические и люминесцентные свойства оксида цинка // Оптика и спектроскопия. — 2011. — Т. 111. — № 5. — С. 814–824.
- 14 Klochko N.P., Khrypunov G.S. Controlled Growth of one-dimensional zinc oxide nanostructures in the pulsed electrodeposition mode // Semiconductors. — 2012. — Vol. 46. — P. 825–831.

Д.А. Афанасьев, Ж.К. Айтымов, Б.Р. Ильясов, Н.Х. Ибраев

Гидротермалдық және импульсті электрoхимиялық әдіспен алынған ZnO нанoөзекшесінің люминесценттік қасиеттерін салыстыру

Мақалада ZnO нанoөзекшесін синтездеу әдісінің ZnO микроқұрылымдары мен спектрлік-люминесценттік қасиеттеріне әсері зерттелді. Синтездеудің гидротермиялық және импульстік электрoхимиялық әдістері жүргізілді. Осы аталған синтездеу әдістері арқылы жұқа қалыңдықтағы қабыршақтар алынды. Микроскопиялық өлшеулер нәтижесінде гидротермиялық синтездеу әдісі арқылы алынған нанoөзекшелердің диаметрлері, электрoхимиялық әдістер арқылы алынған нанoөзекшелерінің диаметрлеріне қарағанда, айтарлықтай кіші екендігі анықталды. Импульстік электрoхимиялық әдіс арқылы алынған ZnO қабыршағының рентгендік дифракциясы өлшенді. Гидротермиялық және импульстік электрoхимиялық әдістер арқылы алынған гексагоналды торға ие ZnO кристалдық қабыршағы вюрциттік құрылымда болатыны көрсетілді. Алынған үлгілердің жұтылу және флуоресценция спектрлері өлшенді. Жұтылу спектрін өлшеу барысында ZnO қабыршағының рұқсат етілмеген зонасының ені анықталды. Алынған қабыршақтың люминесценция спектрінде экситондық табиғатқа ие шектік люминесценция спектрдің ультракүлгін облысында, ал ақаулы люминесценция спектрдің көрінетін облысында байқалды. Жұтылу спектрі мен люминесценцияға талдау жасау барысында электрoхимиялық әдісі арқылы алынған ZnO қабыршағының ақаулары, гидротермиялық синтез арқылы алынған ZnO қабыршағына қарағанда, айтарлықтай жоғары мәнге ие екендігі анықталды.

Кілт сөздер: жұқа қабыршақ, ZnO, жұтылу спектрі, люминесценция, гидротермалды синтез, импульсті электрoхимиялық синтез, ақаулар.

Д.А. Афанасьев, Ж.К. Айтымов, Б.Р. Ильясов, Н.Х. Ибраев

Сравнение люминесцентных свойств наностержней ZnO, полученных гидротермальным и импульсным электрoхимическим методами

В работе изучено влияние метода синтеза стержней ZnO на их микроструктурные и спектрально-люминесцентные свойства. Используются гидротермальным и импульсным электрoхимическим методы синтеза. Данными методами получены пленки с близким значением толщины. Микроскопическими измерениями показано, что диаметр стержней, полученных гидротермальным методом, значительно меньше диаметра стержней, полученных электрoхимическим методом. Измерена рентгеновская дифракция пленок ZnO, полученных импульсным электрoхимическим методом. Показано, что как гидротермальным, так и импульсным электрoхимическим методами получены кристаллические пленки ZnO со структурой вюрцита. Были измерены спектры поглощения и флуоресценции образцов. Из спектров поглощения определена ширина запрещенной зоны пленок ZnO. В спектрах люминесценции полученных пленок наблюдается краевая люминесценция в ультрафиолетовой области спектра, имеющая экситонную природу, и дефектная люминесценция в видимой области спектра. Анализ спектров поглощения и люминесценции показал, что дефектность пленки ZnO, полученной электрoхимическим методом, значительно выше дефектности пленки, полученной гидротермальным методом синтеза.

Ключевые слова: тонкие пленки ZnO, спектр поглощения, люминесценция, гидротермальным синтез, импульсным электрoхимическим синтез, дефектность.

References

- 1 Djuricic A.B., Leung Y.H. *Small*, 2006, 2, p. 944–961.
- 2 Özgür Ü., Alivov Ya.I., Liu C. *J. Appl. Phys.*, 2005, 98 (4), p. 041301–041309.
- 3 Triboulet R., Perriere J. *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.*, 2003, 47, p. 65–138.
- 4 Zafar H.I., Kimleang K., Xianjie L., Magnus W. *Nanomaterials*, 2013, 3, p. 564–571.
- 5 Feng H., Hengzhong Z., Jillian F. Banfield. *Nano Letters*, 2003, 3, p. 373–378.
- 6 Skompska M., Zarębska K. *Electrochim. Acta*, 2014, 127, p. 467–488.
- 7 Arslan A., Hür E., Ilican S., Caglar Y., Caglar M. *Spectrochim. Acta A*, 2014, 128, p. 716–723.
- 8 Klochko N.P., Myagchenko Y.O., Melnychuk E.E., Kopach V.R., Klepikova E.S., Lyubov V.N., Khrypunov G.S., Kopach A.V. *Semiconductors*, 2013, 47, p. 1123–1129.
- 9 Dimova-Malnovska D., Andreeva P., Sendova-Vassileva M., Nicheva H., Starbova K. *Energ. Procedia*, 2010, 2, p. 55–58.
- 10 Djuricic A.B., Chen X.Y. *Progress in quantum electronics*, 2010, 34, p. 191–259.
- 11 Ilyassov B.R., Ibrayev N.Kh. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2016, 110, p. 1–4.
- 12 Afify H.H., EL-Hefnawi S., Eliwa A., Abdel-Naby M., Ahmed N. *Egypt. J. Solids*, 2005, 76, p. 243–254.
- 13 Rodnyh P.A., Khodyuk I.V. *Optics and Spectroscopy*, 2011, 111, 5, p. 776–785.
- 14 Klochko N.P., Khrypunov G.S. *Semiconductors*, 2012, 46, p. 825–831.

V.S. Portnov¹, L.K. Novikova¹, S.A. Vyzhva², N.V. Reva²,
A.R. Baizhanova¹, V.M. Yurov³, A.D. Maussymbayeva¹

¹Karaganda State Technical University, Kazakhstan;
²Kiev National University of Taras Shevchenko, Ukraine;
³Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan
(E-mail: exciton@listl.ru)

Crushing and grinding minerals deposits of the western area Nurkazgan

The paper calculated the total surface energy of the mineral deposits Nurkazgan West, which is equal to: $\sigma = 0,806 \text{ J/m}^2$. The main contribution to the surface energy of the field West Nurkazgan minerals contribute quartz (SiO_2) and corundum (Al_2O_3). Designed overall operation of the fragmentation of 1 ton of mineral deposits Nurkazgan to a piece of 5 mm, which is $A = 3.014 \text{ J}$. This corresponds to a specific energy consumption $E = 30.2 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$. It shows that to increase the efficiency of ore crushing need to increase the defects of the mineral structure, reduce the temperature and increase the power of crushing. Cooling is best in ore hopper using liquid cryogenic plants. It is shown that an abrupt change of work crushing and defects in the mineral structure can be achieved with the optimal use of energy in the blast ore production stage or electroimpulse crushing hopper. It is shown that the minimum value of the grain size is determined by the surface energy: $\text{mind} \rightarrow \text{min}\sigma^2$. This condition determines the efficiency of ore grinding. To increase it is necessary to decrease the surface energy minerals. It is shown that the most cost-effective mix before the process of crushing and grinding the ore Western and Northern regions Nurkazgan field.

Keywords: surface energy, ore, mineral, crushing, grinding, copper, chalcopyrite, structural defects.

Introduction

The process of ore dressing in the technologies of various ores enrichment is aimed at creating conditions that provide the maximum degree of extraction of useful component at the lowest possible resource consumption. Generally, this process involves grinding the ore to a particle size less than the smaller of the useful component of grain with subsequent extraction of one or another physical or chemical means.

The most energy-intensive and costly process in the extraction and enrichment of mineral raw materials is their destruction. For example, in the iron ore beneficiation plants in the Russian share of this process accounts for 70% of all energy consumption (30 kW·h/ton of ore) [1]. Fracture of all technological processes, and this drilling, blasting, crushing and grinding, milling is the most energy-intensive (26 kW·h/ton of ore) [1]. In the US, the share of mining crushing and grinding accounted 29.3 billion kilowatt-hours per year [2], representing 45% of total US electricity consumption mining industry.

In this paper we will use the results of the thermodynamic analysis of the fracture process, following [3], which shows an extensive bibliography on the issues raised.

The mineral composition of the western portion of the deposit Nurkazgan

Ores West area aresulphide gold-copper. Rock-forming minerals are: (average of the laboratory process samples) silica 34.5%; feldspar 27.0%; sericite, muscovite 25.0%; chlorite 5.0% and 4.0% calcite. The basic value of the ore are copper, gold, concomitant are silver, molybdenum, selenium, tellurium, indium, and pyritic sulfur, platinum, palladium.

A characteristic feature of mineralization is that the discharge size of chalcopyrite and pyrite vary widely: from very thin and thin, to small and large inclusions of solid masses. The texture of ore isolations: breeding and sparsely interspersed. Table 1 shows the average contents of fields in Western Nurkazgan minerals.

Table 1

Percentage of deposits of minerals West Nurkazgan

The mineral	Percentage, %	The mineral	Percentage, %
SiO_2	63,81	MnO	0,08
TiO_2	0,41	MgO	1,20
Al_2O_3	17,34	CaO	2,50
FeO	3,95	K_2O	4,20
Fe_2O_3	1,51	Na_2O	0,18

*The calculation of the surface energy of ores and minerals deposits
of the western section of Nurkazgan*

The specific surface energy (surface tension) — the main characteristic of processes involving surfaces or phase boundaries. Surface tension determines the free energy (work) that must be expended to form a unit of surface area or interface.

Surface phenomena occur in any heterogeneous system consisting of two or more phases. In essence, the entire material world — is heterogeneous. As a homogeneous system may be considered only in limited space volumes. Therefore, the role of surface phenomena in natural and technological processes is extremely high.

The use of surface phenomena in the production of human activity allows to intensify the existing processes. Surface phenomena largely determine ways of obtaining and durability of major building and construction materials; the efficiency of extraction and processing of minerals. The presence of surface tension is due to the fact that the atoms on the surface of the liquid or solid state have a greater potential energy than the atoms or ions within them, so the surface energy is usually regarded as an excess power per unit area.

When grinding minerals to sizes close to molecular, dispersed work per unit of the newly formed surface (specific surface energy) is between $4 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-3}$ to 2.7 J/cm^2 . The product of $A = \sigma \cdot S$ is a dispersing operation, where σ — surface tension (surface energy) of the mineral, and S — its specific surface area.

Table 1 shows the mineral composition of deposits West Nurkazgan. We calculate according to [3], the surface energy of these minerals (Table 2).

Table 2 shows that practically all oxides except monoxides iron, manganese, potassium and sodium dioxide, have high surface energy.

If we use the equation of Rettinger [3], we get:

$$A = \gamma \Delta S = \sigma \cdot \Delta S, \quad (1)$$

where γ — temporary resistance to compression ($\text{N} \cdot \text{m/m}^2$), ΔS — area of newly formed surface (m^2).

Equation (1) shows that the quantity $\sigma = \gamma$. This allows you to compare our calculations with tabulated values temporary compression resistance (tensile strength) [4].

Table 3 shows the comparison for the known compounds. Table 3 shows that, up to a tenth of the surface energy and ultimate strength are the same minerals. This allows evaluation of these values in the case where one of them is unknown.

Table 2

Surface energy field West Nurkazgan minerals

The mineral	Surface energy (J/m^2)	The mineral	Surface energy (J/m^2)
SiO_2	0,655	MnO	0,396
TiO_2	0,633	MgO	0,359
Al_2O_3	0,715	CaO	0,436
FeO	0,401	K_2O	0,131
Fe_2O_3	0,707	Na_2O	0,143

Table 3

Surface energy and strength of some minerals

The mineral	Surface energy (J/m^2)	The strength (J/m^2)
SiO_2	0,655	0,589
TiO_2	0,633	0,615
Al_2O_3	0,715	0,680
MgO	0,359	0,396

We now make a calculation of the total surface energy of the mineral deposits West Nurkazgan using its additive property. Table 1 shows the average contents of fields in Western Nurkazgan minerals.

Given in Table 1 the total surface energy of the West Nurkazgan deposits of minerals will be equal to:

$$\sigma = 0,806 \text{ J/m}^2. \quad (2)$$

The main contribution to the surface energy of the field West Nurkazgan minerals contribute quartz (SiO_2) and aluminum oxide (Al_2O_3).

Efficiency ore crushing

Crushing in the broadest sense is the process of reducing the size of the pieces of ore or grain so their value at which minerals can be separated from each other by subsequent enrichment process.

At the ore processing plant is supplied in pieces of different sizes, from 200–300 up to 1500 mm, depending on the nature of the ore and mining. These pieces consist of a splice minerals and are not suitable for enrichment.

The ore in this case should be subject to a preliminary crushing, and the final size of the pieces is determined mainly by the nature of impregnation of mineral grains in ore (large, small or thin impregnation).

Crushing can be carried out in several ways: crushing, abrasion, splintering, stroke and combination methods listed above. In some cases, they are joined by more side effects of tearing or bending forces.

Crushing — one of the most expensive processes. On concentrators cost of the crushing process is on average 40% of the ore enrichment and the cost of crushing equipment — about 60% of the cost of factory equipment. Therefore crushing principle is «do not crush nothing more». Compliance with this principle provides energy savings, increased plant capacity, reducing the useful mineral loss and decrease wear of working parts of crushers.

To fulfill the principle of «do not crush nothing more» whole crushing operation is divided into several steps or techniques; before crushing stage provides each classification in order to separate fines in order not to subject the pieces of size ready re-crushed, and finally, if applicable, after each cleavage step used enrichment.

Distinguish: a large crushing — by crushing the ore from 1500 to 100–400 mm; secondary crushing — from 400–100 to 30–50 mm and fine crushing — from 30–50 to 3–5 mm. Finer division (less than 1 mm) refers to breakage.

Large, medium and fine crushing is carried out in devices known as crushers (jaw, cone, etc.).

Selection crushing method, and consequently, the crusher type depends on the physical properties of the material to be crushed, and the size of its initial size and the desired cleavage product. For solids and viscous materials it is the most efficient crushing crushing, impact and abrasion, while brittle materials it is advisable to split splintering.

Large and medium crushing is carried out mainly by crushing and splintering and crushing — impact and abrasion.

According to [5] in the area of mine development West porphyry copper deposits developed Nurkazgan rocks with hard crystalline bonds, among which are the basic intrusive ore-bearing formation. The on-board parts of the volcanic rocks occur presented basaltic andesite tuffs composition. According to the physical properties of the body and breed pit walls vary within a small range. Several different from other indicators of intrusive breccias, demonstrating a high density (2.80 g/cm^3), increased weight (2.84 g/cm^3) and higher water absorption (0.33%). Mechanical properties of intrusive breccias with less. Tensile strength under uniaxial compression at 35.61 MPa breccias, tuffs at — 42.16, the remaining species is in the range 56,69–57,89 MPa.

When saturated with water, the compressive strength decreases from quartz diorite to 11%, 20% granodiorite, intrusive breccia at 29%, 26% tuff. As seen from the above figures, the ratio of the strength properties in the water-saturated state is proportional to their ratio in the dry state. Intrusive breccias and tuffs of the most affected by water cut.

According to [6], the total amount of materials annually subjected to disintegration of 3–3.5 bln. tons, and power consumption for these processes is 4.5–5% of the total production in the country. The weight of crushing and grinding equipment, processing 1 million ton mountain of raw materials per year, an average of 1 ths. tons. Much of the metal (1 to 3 kg per 1 ton of ore and pulverized crushability, depending on its characteristics and fineness) is irretrievably lost as a result of abrasive wear and the corrosion of grinding bodies and linings of organs working machines. In general, irrecoverable losses of metal in the process of disintegration of the mineral raw materials account for up to 4 million tons per year, or 2% of its total production in the country.

If we consider that the average density of mineral deposits Nurkazgan $\rho = 2,8 \text{ g/cm}^3$, then 1 ton of ore will occupy the volume $V = 0,36 \text{ m}^3$. The sphere approximation, its surface area is equal to: $S = 0,64 \text{ m}^2$ and an average diameter of $d = 0,9 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$. Table 4 is computed using equation (2), work crushing Nurkazgan minerals deposits.

Table 4

Work for large, medium and fine crushing of mineral deposits Nurkazgan

	Coarse crushing, from 900 to 100 mm	Secondary crushing, from 100 to 30 mm	Fine crushing, from 30 to 5 mm
Workcrushing, J	1,612	1,241	0,161

Thus, the overall operation of the fragmentation of 1 ton Nurkazgan mineral deposits of up to 5 mm in size will be 3,014 pieces of J.

The specific energy consumption of mechanical disintegration in stages depending on the strength characteristics of the ore from the literature are as follows, kW·h/t [6]:

coarse crushing	0.3–0.5
medium and fine crushing	0.8–1.2
coarse and fine grinding	18–20
ultrafine grinding	50

In Table 5, calculated using equation (2), the specific energy consumption for crushing minerals Nurkazgan field.

Table 5

Energy costs for large, medium and fine crushing of mineral deposits Nurkazgan

	Coarse crushing, from 900 to 100 mm	Secondary crushing, from 900 to 30 mm	Fine crushing, from 900 to 5 mm
Specific energy consumption kW·h/t	0,45	0,80	1,29

Table 5 shows that the energy consumption for crushing Nurkazgan mineral deposits fall into the general classification [6].

We use the formula for the efficiency of ore crushing, obtained in [3]:

$$\eta = \frac{kT}{C_1} \cdot \frac{A}{G^0} \cdot \bar{N}, \quad (3)$$

where A — work (energy) crushing, T — temperature, the G^0 — Gibbs potential of a bulk sample of the mineral, N — the average number of elementary media destruction (proportional to the number of defects), C_1 — constant.

Chalcopyrite — is the main ore-forming mineral of copper ores of the Western region (84.9% rel.). Most often, it forms a nest-solid mass accumulation irregular, angular shape often ranging in size from 0.5 mm to 2 x 5 x 8 cm in size of individual grains of 0.01-0.5 mm [46].

Often the borders of enlarged grains of chalcopyrite observed subtle and very subtle highlight it sometimes in the form of dispersion haloes, the size of the first microns to 0.01–0.02 mm. Sometimes veinlets of chalcopyrite inclusions in the rock go into intermittent, size (0,016–0,280 mm).

To happened disclosure of mineral chalcopyrite phase, hence the need to perform work (equation 2, a piece the size of chalcopyrite — 0.5 mm). $A = 3.022$ J. This corresponds to a specific energy consumption $E = 30.2$ kW·h/t. This is a fairly significant energy costs.

CJSC «Mekhanobr Engineering» (Moscow, Russia) at the request of JSC «Kazakhmys Corporation» tested the impact of off-balance sheet crushing of sulphide ores of Zhezkazgan field in the high-pressure roller mill LABWAL compared to crushing ore in Zhezkazgan standard roll crusher energy consumption during grinding of crushed ore. It is shown that at a final grind size of 65% of class -0.074 mm in the specific consumption of useful energy for grinding the ore after the passage of the high pressure roll crusher LABWAL was 15.23 kW·h/t, and after crushing in a standard roll crusher - 16.6 kW·h / t. The total consumption of useful energy for crushing and grinding was respectively 18.06 and 22.2 kW·h/t. These obtained values are close to us. The differences relate to the greater strength of the rocks western section Nurkazgan deposits compared to off-balance sheet deposits of sulfide ores of Zhezkazgan.

Given that $G^0 = a + bT + cT^2 \approx cT^2$, rewrite (3) in the form of:

$$\eta = C \cdot \frac{A}{T} \cdot \bar{N}, \quad (4)$$

where C — a constant. From equation (4) it follows that to increase the ore crushing efficiency must be increased deficiency of the mineral structure, reduce the temperature and increase the energy division. Figure is a schematic diagram of ore preparation Nurkazgan field.

A sharp change in the ore reduction in temperature leads to an increase in the efficiency of its fragmentation — the formula (4). This is due to the uneven expansion of the ore and form a plurality of micro-cracks. This method has found application and called cryogenic disintegration of refractory ores [7]. Cooling is best in ore hopper (Fig. 1) using liquid cryogenic plants [8].

The sharp change in operation of crushing and defects in the structure of formula (4) can be achieved with optimum utilization of the energy of the explosion [9, 10] to ore extraction step or crushing electropulse [11] in the hopper.

Currently, about 90% of non-ferrous and ferrous metals mined by blasting. Most researchers believe criterion for evaluating how damaging and crushing action of the explosion energy of the total explosive (HE) [12, 13].

For different types of explosives as the primary criterion for evaluation taking energy per unit concentration rechargeable cavity in a product, ρA where A — perfect job explosion kJ/kg; ρ — density cartridge patronize or loading density granular explosives, g/cm^3 (kg/dm^3).

With the explosion of 1 kg of TNT energy is released about $4 \cdot 10^6$ J Above, we calculated the energy splitting of 1 ton of minerals western section Nurkazgan deposits — 3,022 G. When blasting operations efficiency (efficiency) of the explosion is extremely low: From 1 to 7% by explosions on emissions and 15–25% in the explosions at crushing of rocks [12, 13]. Therefore, only about 106 J $0,6 \cdot 1$ kg of TNT explosion goes to ragging. For grinding 1 ton of mineral deposits of the West section Nurkazgan therefore need about 5 mg or TNT explosives in the same TNT.

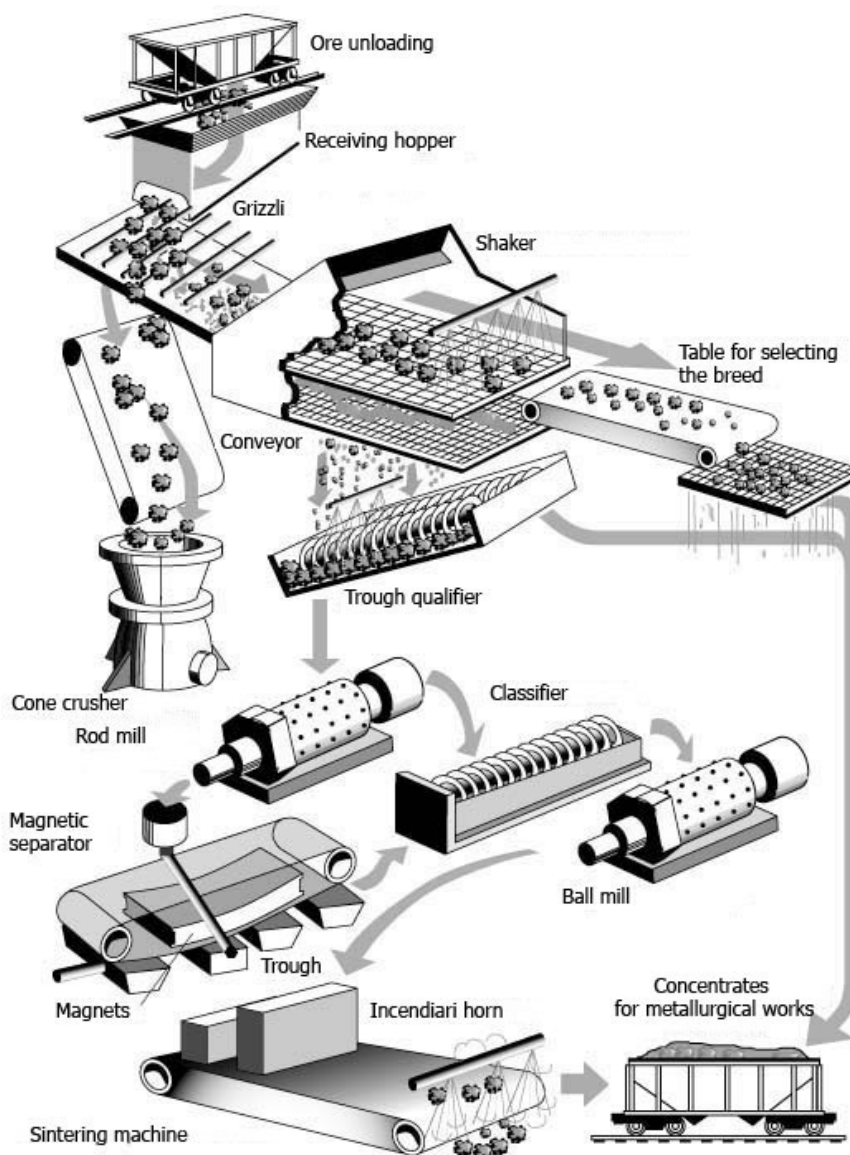


Figure. The scheme for obtaining concentrate Nurkazgan field

Promising use for crushing minerals western part of the deposit Nurkazgan electro technology [11]. Features of this technology are realized in a disintegrator to electro KLEID [13], which can be manufactured in a hopper (Fig.).

For electroimpulse crushing important to know the «resonant frequency» of the mineral, which can be represented as:

$$\omega_{pez} = \sqrt{\frac{\lambda}{c\rho}}, \quad (5)$$

where λ — thermal conductivity, c — specific heat, ρ — density of the medium.

Chalcopyrite — is the main ore-forming mineral of copper ores of the Western region (84.9% rel.). For him, according to [4]: $c = 534.3$ J/kg K, $\rho = 4,1$ kg/m³, and according to [14]: $\lambda = 9$ W/m K. Then the resonance frequency of the chalcopyrite: $\omega_{rez} \approx 2$ Hz. This is an achievable rate for electropulse technologies.

Optimization of grinding ore

The effectiveness of grinding ore determines the profitability of the field development. Thus, these models are required grinding processes that describe the use of energy devices destructive action (crushers, mills, disintegrating agents) in the ore, and could be used to solve practical problems of optimization of the grinding cycle.

This model considers the comminution process in terms of two aspects [15, 16]:

- grindability ore, particularly by applying a certain amount of specific energy;
- characteristics of grinding equipment - the quantity and nature of the type of energy and movement of ore through the apparatus.

Models grinding process the particles are separated into two classes [16]:

- a model in which it is assumed that the milling equipment is the particle size distribution of the transducer between nutrition and the final product;
- the model is considered in which each element in the grinding process.

These classes were assigned to the model of the «black box» and «basic model», respectively. The first class of models is widely used at present. The second class requires huge computational resources, and become economically viable for future use.

The task of the fundamental models generate a detailed link between the physical conditions inside the machine and the result of the process that takes place in it. A limitation of this type of modeling is a computational technique. Many scholars have devoted their work to research the issue [17–19]. For example, in [20] it was proposed to divide the mill in the area: shock, friction / abrasion and impact of small and describe each zone separately, thus reducing the requirements applicable in the simulation of digital technology.

We emphasize that the grinding is fundamentally different from the crushing presence in its process of «size effect». Experimental investigation of mechanical properties of nanomaterials have shown that the tensile strength, hardness, many metals (Pd, Cu, Ag, Ni et al.) Is significantly higher than the corresponding bulk analogues [21, 22]. Increased strength and hardness with decreasing grain size up to a certain critical size is typical for virtually all crystals. This follows from the Hall-Petch equation that the yield stress depends inversely γ_T of the average grain size d [22]:

$$\gamma_T(d) = \gamma_M + kd^{-1/2}, \quad (6)$$

γ_M — where the limit strength of the single crystal, k — coefficient of some dimension.

In [23] to the yield strength obtained:

$$\gamma_T(d) = \gamma_M + C\sigma d^{-1/2}. \quad (7)$$

Equation (7) coincides in shape with the Hall-Petch equation (6). However, the coefficients of proportionality differ in both formulas. In this case, the behavior of the yield strength of small particles is also determined by the size of their surface tension σ .

From equation (7) implies that $d \sim \sigma^2$. In other words, the minimum value of the grain size is determined by:

$$\min d \rightarrow \min \sigma^2. \quad (8)$$

Condition (8) defines the efficiency of ore grinding. To increase it is necessary to decrease the surface energy minerals.

According to [5] for the northern part of the deposit Nurkazgan copper mineralization is mainly chalcopyrite, a very small amount presentbornite and covellite. The ore contains pyrite, magnetite, hematite.

The main components are copper, wherein the content selected by the ore bodies ranges from 0.18 to 1.66% with an average of 0.46% and the gold content of 0.27 g / m. The samples set group silver — 2.15 g / t of molybdenum — 0.0065% selenium — 2.71 g/t, pyrite sulfur — 0.65% of impurities harmful mercury — 0.16 g / m and thallium — 0.54%. The content of tellurium, indium, arsenic and antimony below the detection threshold of the quantitative analyzes.

The total surface energy of the minerals of the Northern area Nurkazgan field according to our estimates of $\sigma = 0,576 \text{ J/m}^2$. This is 30% less than the surface energy of the mineral deposits of the West section Nurkazgan ($\sigma = 0,806 \text{ J/m}^2$).

Thus, the most cost-effective mix before the process of crushing and grinding the ore Western and Northern regions Nurkazgan field. The same conclusion on the basis of experimental studies and came to the authors of [24].

With decreasing particle size of the defects of its structure is reduced due to the disappearance of dislocations sources. In this case, you can use the powerful nanosecond electromagnetic pulses [25], while the pulse generator is better to install the ball mill in Figure 1

Conclusion

One of the first scientists to investigate in detail the properties of the surfaces of discontinuity between the various solids, was an outstanding American physicist and mathematician Josiah Willard Gibbs. In his famous work «On the equilibrium of heterogeneous substances», which later became the foundation of the modern thermodynamics, Gibbs was first considered as a separate subsystem surface other than the shared its thermodynamic phase. This surface layer although it has a very small thickness, but is, according to Gibbs, a definite «phase», that is the state of matter with its inherent energy, entropy and other thermodynamic quantities. This approach allowed Gibbs to create a macroscopic theory of surface phenomena to explain and quantify adsorption, that is, the ability of surface to absorb molecules from the environment.

In this work we wanted to show the importance of the knowledge of the properties of the surface layer in a very important technological processes of crushing and grinding of ores and minerals.

References

- 1 Чантурия В.А. Современные проблемы обогащения минерального сырья в России // Горный журнал. — 2005. — № 12. — С. 13–19.
- 2 Hague K.E. Microwave energy of mineral treatment processes — a brief review // Int. J. Miner. Process. — 1999. — № 57. — P. 146–154.
- 3 Портнов В.С., Юров В.М., Ахметов А.С. Энергия диспергирования упорных руд и минералов. — Караганда: КГТУ, 2014. — 160 с.
- 4 Физические свойства горных пород и полезных ископаемых: Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман. — М.: Недра, 1984. — 455 с.
- 5 Отчет по поисково-разведочным работам на месторождении Нурказган с подсчетом запасов по состоянию на 01.07.2004 г. Контракт № 109 от 28.02.97 г., дополнение к контракту № 984 от 18.09.02 г. В 8 книгах. — Жезказган, 2005.
- 6 Сажин Ю.Г. Процессы рудоподготовки и оборудование. — Алматы: КазНТУ, 2011. — 138 с.
- 7 Татауров С.Б. Совершенствование геотехнологии. — кучного выщелачивания золота с применением криогенной дезинтеграции руд // Записки горного института. — 2011. — Т. 190. — С. 126–131.
- 8 Зайцев А.В. Криогеника в начале XXI века // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». — 2014. — № 1. — С. 6–12.
- 9 Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 2. Взрывные работы в горном деле и промышленности. — М.: Горная кн., 2008. — 512 с.
- 10 Юсупов Х.А., Кабетенов Т. Технология отработки маломощных рудных залежей на основе взрыворазделения. — Алматы: Экономика, 2013. — 136 с.
- 11 Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. — Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002. — 324 с.
- 12 Росси Б.Д., Поздняков З.Г. Промышленные взрывчатые вещества и средства взрывания. — М.: Недра, 1971. — 176 с.
- 13 Усов А.Ф., Ефимов Б.В., Цукерман В.А. и др. Процессы и технологии на основе электроимпульсного способа разрушения материалов // Инновационный потенциал Кольской науки. — Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2005. — С. 306–312.

- 14 Попов В.В., Кижжаев С.А., Рудь Ю.В. Магнитные и тепловые свойства CuFeS_2 при низких температурах // Физика твердого тела. — 2011. — Т. 53. — Вып. 1. — С. 70–74.
- 15 Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. — М.: Недра, 1980. — 415 с.
- 16 Алексеева Е.А. Получение малокремнистого алюминиевого сырья в процессе рудоподготовки низкокачественных бокситов: Дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2015. — 183 с.
- 17 Mishra B.K., Rajamani R.K. Analysis of media motion in industrial mills // Comminution: Theory and Practice, Ed: Kawatra, 1992. — P. 427–440.
- 18 Mishra B.K., Rajamani R.K. Simulation of charge motion in ball mills. Part 1: experimental verifications // Int J of Min Proc. — 1994. — Vol. 40. — P. 171–186.
- 19 Mishra B.K., Rajamani R.K. Simulation of charge motion in ball mills. Part 2: numerical simulations // Int J of Min Proc. — 1994. — Vol. 40. — P. 187–197.
- 20 Radziszewski P., Tarasiewicz S. Autogenous mill design using comminution energetic // SAG'89 – Advances in autogenous and semiautogenous grinding technology. Ed.: Mular and Agar. — Vancouver, 1989. — P. 773–778.
- 21 Андриевский Р.Л., Глезер А.М. Прочность наноструктур // Успехи физических наук. — 2009. — Т. 179. — № 4. — С. 337–358.
- 22 Малыгин Г.А. Прочность и пластичность нанокристаллических материалов и наноразмерных кристаллов // Успехи физических наук. — 2011. — Т. 181. — № 11. — С. 1129–1156.
- 23 Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А. Некоторые вопросы физики прочности металлических наноструктур // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. — Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013. — Вып. 5. — С. 408–412.
- 24 Максимов И.И., Отрожденнова Л.А., Тасина Т.И., Заварина Р.И., Егорова В.Г. Изучение обогатимости руд Западного и Северного участков месторождения Нурказган с различным содержанием меди // Обогащение руд. — 2014. — № 3. — С. 8–16.
- 25 Бунин И.Ж. Теоретические основы воздействия наносекундных электромагнитных импульсов на процессы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов и извлечения благородных металлов из руд: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М., 2009. — 39 с.

В.С. Портнов, Л.К. Новикова, С.А. Выжва, Н.В. Рева,
А.Р. Байжанова, В.М. Юров, Э.Д. Маусымбаева

Нұрқазған кен орны Батыс бөлігінің минералдарының ұсақталуы мен ұнтақталуы

Мақалада Батыс Нұрқазған кен орны минералдарының беттік энергиясы есептелген, ол $\sigma = 0,806$ Дж/м² тең. Батыс Нұрқазған кен орны минералдарының беттік энергиясына кварц (SiO_2) және корунд (Al_2O_3) басты ықпал етеді. Нұрқазған кен орны минералдарының 1 т 5 мм ұсақ бөліктерге бөлудің жалпы жұмысы есептелген, ол $A = 3,014$ Дж-ге тең. Бұл нақты энергия тұтынуға $E = 30,2$ кВт-с/т сәйкес келеді, кенді бөлшектеу тиімділігін арттыру үшін минерал құрылымының ақаулығын арттыру қажет, температураны төмендетіп, бөлшектеу энергиясын арттыру керек. Кенді салқындатуда криогендік жабдықтар мен сұйықтықтарды қолдана отырып, бункерде орындаған тиімдірек. Бөлшектеу жұмысы мен минерал құрылымының ақаулығының жылдам өзгеруі энергияны оңтайлы пайдалануда кен өндіру немесе бункердегі электроимпульстік бөлшектеу кезеңінде жарылыс болу қаупін туғызатыны көрсетілген. Түйіршіктің минималды өлшемі беттік энергиямен анықталады: $\text{mind} \rightarrow \text{mind}^2$. Бұл жағдай кеннің ұсақталу тиімділігін анықтайды. Оны арттыру үшін минералдың беттік энергиясын төмендету қажет. Нұрқазған кен орнының Батыс және Солтүстік бөліктеріндегі кендерді бөлшектеу және ұсақтау үрдістерінің алдында оларды араластыру тиімді болып келеді.

Кілт сөздер: беттік энергиясы, кен, минералдық, ұсақтау, ұнтақтау, мыс, халькопирит, құрылым ақаулары.

В.С. Портнов, Л.К. Новикова, С.А. Выжва, Н.В. Рева,
А.Р. Байжанова, В.М. Юров, А.Д. Маусымбаева

Дробление и измельчение минералов западного участка месторождения Нурказган

В работе рассчитана общая поверхностная энергия минералов месторождения Западный Нурказган, которая равна $\sigma = 0,806$ Дж/м². Основной вклад в поверхностную энергию минералов месторождения вносят кварц (SiO₂) и корунд (Al₂O₃). Рассчитана общая работа на дробление 1 тонны минералов месторождения Нурказган до куска размером 5 мм, которая составляет $A = 3,014$ Дж. Это соответствует удельным энергозатратам $E = 30,2$ кВт·ч/т. Показано, что для увеличения эффективности дробления руды необходимо увеличивать дефектность структуры минерала, энергию дробления и уменьшать температуру. Охлаждать руду лучше всего в приемном бункере, используя криогенные установки и жидкости. Показано, что резкого изменения работы дробления и дефектности структуры минерала можно достичь при оптимальном использовании энергии взрыва на стадии добычи руды или электроимпульсного дробления в приемном бункере. Определено, что минимальное значение размера зерна определяется поверхностной энергией $\min d \rightarrow \min \sigma^2$. Это условие определяет эффективность измельчения руды. Для ее увеличения необходимо уменьшение поверхностной энергии минералов. Отмечено, что наиболее экономично смешивать перед процессами дробления и измельчения руды западного и северного участков месторождения Нурказган.

Ключевые слова: поверхностная энергия, руда, минерал, дробление, измельчение, медь, халькопирит, дефектность структуры.

References

- 1 Chanturiya V.A. *Mining Journal*, 2005, 12, p. 13–19.
- 2 Hague K.E. *Int. J. Miner. Process.*, 1999, 57, p. 146–154.
- 3 Portnov V.S., Yurov V.M., Akhmetov A.S. *The energy dispersion of refractory ores and minerals*, Karaganda: KSTU, 2014, 160 p.
- 4 The physical properties of rocks and minerals: Directory geophysics, ed. N.B. Dortman, Moscow: Nedra, 1984, 455 p.
- 5 Report on exploration at the deposit Nurkazgan reserves estimation as of 01.07.2004, the contract number 109 of 02/28/97, the Supplement to the contract number 984 of 18.09.02 In 8 books. Zhezkazgan, 2005.
- 6 Sazhin Yu.G. *Ore preparation processes and equipment*, Almaty: Kazakh National Technical University, 2011, 138 p.
- 7 Tataurov S.B. *Notes of the Mining Institute*, 2011, 190, p. 126–131.
- 8 Zaitsev A.V. *Scientific Journal ITMO. «Refrigeration and AirConditioning» Series*, 2014, 1, p. 6–12.
- 9 Kutuzov B.N. *The methods of blasting. Part 2: Blasting operations in mining and industry*, Moscow: Gornaya kniga, 2008, 512 p.
- 10 Yusupov H.A., Kabetenov T. *Technology shallow mining of ore deposits based on the separation of explosions*, Almaty: Economics, 2013, 136 p.
- 11 Kurets V.I., Usov A.F., Zuckerman V.A. *Electropulse disintegration of materials*, Apatity: Kola Science Centre RAN, 2002, 324 p.
- 12 Rossi B.D., Pozdnyakov Z.G. *Industrial explosives and blasting agents*, Moscow: Nedra, 1971, 176 p.
- 13 Usov A.F., Efimov B.V., Zuckerman V.A. et al. *Innovative potential of the Kola Science*, Apatity: Kola Science Centre RAN, 2005, p. 306–312.
- 14 Popov V.V., Kizhaev S.A., Rud Yu.V. *Solid State Physics*, 2011, 53, 1, p. 70–74.
- 15 Andreev S.E., Perov V.A., Zverevich V.V. *Crushing, grinding and screening of minerals*, Moscow: Nedra, 1980, 415 p.
- 16 Alekseeva E.A. *Getting siliceous raw aluminum in the ore preparation of low-quality bauxite*, dis. ... cand. technical sciences, Saint Petersburg, 2015, 183 p.
- 17 Mishra B.K., Rajamani R.K. *Comminution: Theory and Practice*, ed. Kawatra, 1992, p. 427–440.
- 18 Mishra B.K., Rajamani R.K. *Int J of Min Proc.*, 1994, 40, p. 171–186.
- 19 Mishra B.K., Rajamani R.K. *Int J of Min Proc.*, 1994, 40, p. 187–197.
- 20 Radziszewski P., Tarasiewicz S. *SAG'89 — Advances in autogenous and semiautogenous grinding technology*, ed. Mular and Agar, Vancouver, 1989, p. 773–778.
- 21 Andrievsky R.L., Glaser A.M. *Successes of physical sciences*, 2009, 179, 4, p. 337–358.
- 22 Malygin G.A. *Successes of physical sciences*, 2011, 181, 11, p. 1129–1156.
- 23 Yurov V.M., Laurynas V.Ch., Guchenko S.A. *Interuniversity collection of scientific papers «Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials»*, Tver: Tver State University, 2013, 5, p. 408–412.
- 24 Maksimov I.I., Otrozhdenova L.A., Tasin T.I., Zavarina R.I., Egorova V.G. *Ore concentration*, 2014, 3, p. 8–16.
- 25 Bunin I.Zh. *Theoretical basis of the impact of nanosecond electromagnetic pulses on the processes of disintegration and break-up of fine mineral complexes and extraction of precious metals from ores*, Abstract of doctor of technical sciences, Moscow, 2009, 39 p.

N.V. Reva¹, V.S. Portnov², G.G. Blyalova², A.D. Mausimbaeva²

¹Taras Shevchenko Kyiv National University, Ukraine;

²Karaganda State Technical University, Kazakhstan

(E-mail: g.blyalova@kstu.kz)

About late asymptote of transient processes in the magnetic field of the dipole sources

The developed method solutions of the problem of late asymptote of transient processes in the magnetic field, the dipole sources are Innervate layered medium, underlain by an insulator. The method allows to determine the asymptotes of the late signals of the formation of a magnetic field as a power time series, which are present as a prominent member of a number of proportional t^{-4} and carrying information about the total longitudinal conductance of the section and a member of a number of proportional t^{-5} and contains information about capacity and conductivities of the layers. The algorithm of asymptotic solution based on the determination of the transition characteristics of the expanded core in the receiving operating information with one pole on the real axis of the complex plane and its structure is similar to the operating functions of the model a thin conductive layer, excited by the raised sources. The result is an asymptotic temporary solution to a temporary member of a number proportional t^{-5} to the received late asymptote depth equivalent to a conducting plane h_τ is the important information of the parameter used in the analysis of experimental pulse field transient for three-layer sections. Analyzed the functional relationship of late asymptote parameter h_τ with a longitudinal conductivity and thickness of layers. The analysis of the possibility of using late asymptotes to determine the total power conductive sediments overlying non-conductive base section. Data in the method of formation field. Theoretical developments are confirmed by the analysis of model.

Keywords: late asymptote, a magnetic field, an insulator, a dual-layer cut, functional factor, geoelectric cut.

In the theory of a method, formation of the field (FF) [1–5] the late asymptote of transition process for a derivative, vertical components of magnetic induction $\partial B_z/\partial t$ in case of the horizontally layered section, spread by the insulator, known for the first term of staid decomposition of temporary function. It does not depend on the type of excitation sources and transients, according to [5, 6], is expressed by:

$$\left. \frac{\partial B_z}{\partial t} \right|_{t \rightarrow \infty} = \frac{K_E}{S} \left(\frac{\tau_S}{t} \right)^4; \quad \left. \frac{\partial B_z^*}{\partial t} \right|_{t \rightarrow \infty} = \frac{K_M}{S} \left(\frac{\tau_S}{t} \right)^4, \quad (1)$$

$$\text{where } K_E = \frac{3I \cdot AB \cdot \sin \varphi}{2\pi r^3}, \quad K_M = \frac{3I \cdot Q}{\pi r^4} \quad (2)$$

the coefficients of installs with electric and magnetic dipoles exciting; I — exciting current; AB — the length of the electric dipole; φ — polar angle of installation «dipole-loop»; Q — the area of the magnetic dipole; r — dressing units; S — total conductivity of the longitudinal section; t — the transition process; $\tau_S = r\mu_0 S/2$ — formation parameter of field ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m).

From the (1), asymptotes are proportional to t^{-4} and in informative plan it is depends only from total longitudinal conductivity of («S asymptote») section. Exact expression of a signal has aspect within asymptotic area, containing the second member of staid decomposition is proportional t^{-5} . It is obvious that in the informative aspect this member has to depend both on electric properties of layers, and on their capacities.

Sidorov V.A. [7] had offered the original heuristic way of the approximate solution of a direct non-stationary task in a near zone of incitement source. The main postulates of this way used by Sidorov V.A., also used, for development of an algorithm of the return — approximate solution that has received wide production. The basis of the offered method is made by two postulates: 1) an each fixed time of transition process corresponds a certain depth distribution of an electromagnetic (pulse) wave of H_τ (influence depth); 2) a transition process in each fixed moment corresponds to the transition process, inspired and located at a depth h_τ ($0 < h_\tau < H_\tau$). Thin conductor layer that has the longitudinal conductivity of S_τ corresponding to total longitudinal conductivity incision to the depth influence H_τ . Depth of the equivalent thin layer h_τ has defined as deep coordinate «center of gravity» depth dependence electric conductivity layer $\gamma(z)$ in the effect of base range H_τ :

$$h_\tau = \int_0^{H_\tau} z\gamma(z)dz \Big/ \int_0^{H_\tau} \gamma(z)dz = \int_0^{H_\tau} z\gamma(z)dz \Big/ S_\tau(H_\tau). \quad (3)$$

Eventually, after some period such carrying-out plane plunges, at the same time the parameters H_τ , h_τ , S_τ change. Within the considered approximate way of the solution, the direct assignment established functional connection between time of transition process by t and these parameters:

$$t = \mu_0 S_\tau \left(\frac{4}{3} H_\tau - h_\tau \right), \quad (4)$$

which is used at the solution of the return chore — a observed signal transformation in dependence of $S_\tau(H_\tau)$ [7].

Inspection of this heuristic approach on the transitional characteristic of two-layer model of incision demonstrates that the parameter of depth equivalences h_τ . On late times directs to the thickness of a conductor layer of H ($h_\tau|_{t \rightarrow \infty} = H$), but not to $H/2$, as it would be necessary to expect, proceeding from the considered heuristic conception and a ratio (3). It is confirmed by Figure 1 in which the temporary dependence of $h_\tau(t)$, received by transformation of the valid (not approximate) signal of $\partial B_z / \partial t$, excited electric dipoles in the two-layer cut [5]. Noted discrepancy is the contradictory moment for concerning the applied approximate way of the solution and a direct chore in a method of formation of the field in a near zone. Thus, it should be noted that the analytical late asymptote has temporary dependence of depth of the equivalent carrying-out $h_\tau(t)$ plane in the case that the basis of a section is the insulator, which is unknown.

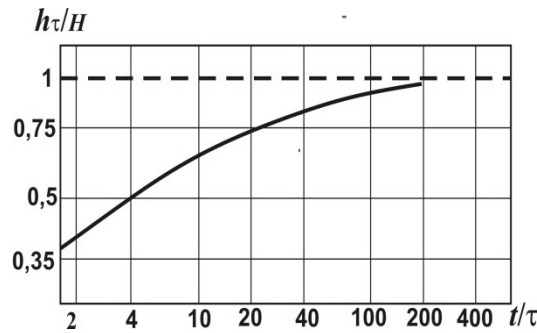


Figure 1. Time dependence h_τ option for a two-layer cut: $\tau = H^2 \mu_0 / (4\rho_1)$

At the same time, h_τ represents the main information parameter that determined in the course of the analysis of impulses of the magnetic field formation. Naturally, it is necessary to know a late asymptote of given parameter. The solution of this chore has reduced to exact dissolution of a signal, on late a time row.

On late times, the currents induced in layers are evenly distributed and regularities of transition processes are close to those in the thin conductor layer, upset by the source, raised over it on height h . The character of transition processes, in this case, the asymptotically late times not depend on type of a source of incitement and can be presented in the following form [6–10]:

$$\frac{\partial B_z}{\partial t} = \frac{K_E}{S} \cdot \frac{\varepsilon}{(1+\varepsilon^2)^{5/2}}, \quad \frac{\partial B_z^*}{\partial t} = \frac{K_M}{2S} \cdot \frac{\varepsilon(2\varepsilon^2-3)}{(1+\varepsilon^2)^{7/2}}, \quad (5)$$

where S — longitudinal conductivity of a thin layer, $\varepsilon = 2h/r + t/\tau_s$ — dimensionless parameter ($\tau_s = r\mu_0 S/2$ — parameter field formation in a thin conductive layer).

Late stage transition process in a thin layer, up to the second term of the power series we obtain, letting in (4) $t \rightarrow \infty$ and completing the corresponding limit changes. The result is a functionally identical asymptotic relations, which, up to the second row of a term proportional to t^{-5} , are expressed in the following form:

$$\left. \frac{\partial B_z}{\partial t} \right|_{t \rightarrow \infty} = K_E \left[\left(\frac{\tau_s}{t} \right)^4 - 8 \frac{h}{r} \left(\frac{\tau_s}{t} \right)^5 \right], \quad \left. \frac{\partial B_z^*}{\partial t} \right|_{t \rightarrow \infty} = K_M \left[\left(\frac{\tau_s}{t} \right)^4 - 8 \frac{h}{r} \left(\frac{\tau_s}{t} \right)^5 \right]. \quad (6)$$

It obviously should be expected that the late asymptote transient, measured on surface of layered media, under lain by an insulator, will have the same type (6), where instead of $8h/r$ coefficient in the second summand there will be some functional coefficient, which is related to power of h_j layers and their longitudinal

conductance $S_j = h_j \gamma_j$ (γ_j — specific conductivity of layers). The purpose of this article is to obtain the late asymptote of transient in (6) type.

According to theoretical calculations, transient in the field of derived by time of vertical component of magnetic induction $\partial B_z / \partial t$ on the surface of horizontal-layered medium is represented as [1–4]:

a) Impulsion by electric dipole

$$\frac{\partial B_z}{\partial t} = \frac{I \cdot AB \mu_0 \text{Sin} \varphi}{4\pi} \frac{\partial}{\partial t} \left[\int_0^\infty m W_1(m, t) J_1(mr) dm \right], \quad (7)$$

b) Impulsion by magnetic field

$$\frac{\partial B_z^*}{\partial t} = \frac{I \cdot Q \mu_0}{4\pi} \frac{\partial}{\partial t} \left[\int_0^\infty m^2 W_1(m, t) J_0(mr) dm \right], \quad (8)$$

where $W_1(m, t)$ is sub-integral transient feature, which contains all information about structure of geoelectrical cut; J_0, J_1 — Bessel functions of zero and the first kind.

The transient feature $W_1(m, t)$ can be determined by the reverse Laplace transform [11] from the relevant operational function of cut $Q_1(m, p)$:

$$W_1(m, t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} Q_1(m, p) \frac{e^{pt}}{p} dp. \quad (9)$$

In Riemann-Mellin integral, the (9) $p = -i\omega$ is an operational variable ($i = \sqrt{-1}$, ω — circular frequency).

On the basis of well-known calculations [3, 4], the operational function $Q_1(m, p)$ for horizontal-layered cut can be written as:

$$Q_1(m, p) = \frac{mR_1(m, p) - n_1}{mR_1(m, p) + n_1}, \quad (10)$$

$$\text{where } R_1(m, p) = \text{cth} \left\{ n_1 h_1 + \text{arth} \left[\frac{n_1}{n_2} \text{cth} \left(n_2 h_2 + \dots + \text{arth} \frac{n_{N-1}}{m} \right) \right] \right\} \quad (11)$$

the recurrent operating inductive function section reflect a non-conductive base, where N — number of layers in the geoelectric cut, $n_j = \sqrt{m^2 + p\mu_0\gamma_j}$, h_j — power layers, γ_j — conductivities of layers ($j = 1, 2, \dots, N-1$).

For obtaining the late asymptotes of transients (7) and (8) in type of (6), it is necessary to perform critical transform of operational function (10). Such transform is lead to mathematical compression of over-supporting part of cut into thin multilayered conductive unit (without changing interrelation between power of layers), each layer is featured by longitudinal conductance $S_j = \gamma_j h_j$:

$$\tilde{Q}_1(m, p) = Q_1(m, p) \Big|_{\substack{h_j \rightarrow 0 \\ h_j \gamma_j = S_j}} = \frac{mR_1(m, p) - n_1}{mR_1(m, p) + n_1} \Big|_{h_j \rightarrow 0} \quad (12)$$

Trying to obtain the late stage of transients (5), excited in thin conductive S -layer, which is uplifted on height h by sources, the proposed concept was used here. This stage was obtained earlier on the basis of direct analysis of specified transients in interval of late time and it is expressed with (6) relation.

Relying on expressions (5), also their integral approximations (7) and (8), Q_S operational function for model of thin layer can be written as:

$$Q_S(m, p) = \frac{-p \cdot e^{-2mh}}{2m / (\mu S) + p}, \quad (13)$$

By compressing model (setting $h \rightarrow 0$) and by limiting linear term of power series expansion at h , we will get the critical operational function \tilde{Q}_S :

$$\tilde{Q}_S(m, p) = \frac{-(1 - 2mh)p}{2m / (\mu S) + p}, \quad (14)$$

Apply in operational transform (8) [11] to (13) allows to determine the critical sub-integral transient feature $\tilde{W}_S(m, t)$ as:

$$\tilde{W}_s(m, t) = -(1 - 2mh) \cdot \exp\left(-m \frac{2t}{\mu_0 S}\right).$$

Performing calculations according to (7) and (8) (integrals are determined on the basis of mathematical references [12]), whereas the critical sub-integral transient feature used its critical variant $\tilde{W}_s(m, t)$, here we will obtain the next relatively h critical transient features of time derivatives of magnetic induction:

$$\frac{\partial \tilde{B}_z}{\partial t} = \frac{K_E}{S} \cdot \left\{ \frac{t/\tau_s}{[1 + (t/\tau_s)^2]^{5/2}} - 2 \frac{h}{r} \cdot \frac{4(t/\tau_s)^2 - 1}{[1 + (t/\tau_s)^2]^{7/2}} \right\}, \quad (15)$$

$$\frac{\partial \tilde{B}_z^*}{\partial t} = \frac{K_M}{2S} \cdot \left\{ \frac{t/\tau_s [2(t/\tau_s)^2 - 3]}{[1 + (t/\tau_s)^2]^{7/2}} - 2 \frac{h}{r} \cdot \frac{8(t/\tau_s)^4 - 24(t/\tau_s)^2 + 3}{[1 + (t/\tau_s)^2]^{9/2}} \right\}. \quad (16)$$

It is obvious that the asymptotically late interval of transient features (15, 16) conform to late asymptotes (6) acquired previously.

The test sample confirms that the late asymptote (6) of transient features of thin conductive layer (5) can be obtained through the critical operational feature (13), determined for condition $h \rightarrow 0$, and which have one pole on real axis of complex plane and linear functional presence of geometrical parameter h in it. It proves the correctness of above-mentioned concept for solving issues about late asymptote of transient features in case of horizontal-layered medium, underlain by an insulator.

Transform (12) of operational function of layered cut Q_1 into critical operational function \tilde{Q}_1 should be performed in a such way that the last one should have similar structure to critical operational function of thin layer \tilde{Q}_s (13) — it should have one pole on the real axis of complex plane and linear functional presence of powers of layers h_j . It provides an opportunity for analytical definition of integrals in (6) and (7), consequently asymptotical analysis of transients.

The performed critical transform of operational function of cut has rather cumbersome nature. It is based on expansion of numerator and denominator of ratio (10) into series by powers of vector of layer thickness $h = \{h_1, h_2, \dots, h_{N-1}\}$ limiting with number of infinitesimals $O(h)$. It provides linear functional relationship of numerator and denominator of relative vector of layer power h. Corresponding critical transforms are performed with use of recurrent bond of inductive operational function (11) on surface of j -layer (R_j) with same operational function on surface of $(j + 1)$ -layer (R_{j+1}):

$$R_j(m, p) = \text{cth} \left[n_j h_j + \text{archth} \left(\frac{n_j}{n_{j+1}} R_{j+1} \right) \right] = \frac{n_{j+1} + n_j R_{j+1} \text{cthn}_j h_j}{n_j R_{j+1} + n_{j+1} \text{cthn}_j h_j}. \quad (17)$$

The regularities of series formation are defined during critical transforms.

By dropping the cumbersome critical transforms, which perform (12) algorithm and satisfy the mentioned requirements regarding type of critical operational function, we write the obtained calculation results of this function for horizontal-layered cut, underlain by an insulator, as:

$$\tilde{Q}_1(m, p) = -(1 - B) \cdot \frac{P}{\left(\frac{2m}{\mu S} \right) [1 + m(A - B)] + p}, \quad (18)$$

where S — the total longitudinal conductivity layers: $S = \sum_{j=1}^{N-1} h_j \gamma_j$; function coefficients A and B — coefficients of the order of smallness $O(h)$, which have a functional relationship with the vector of longitudinal conductivities of layers $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{N-1}\}$ and a linear functional relationship with the power vector layers $h = \{h_1, h_2, \dots, h_{N-1}\}$:

$$A(h, S) = H + \sum_{i=2}^{N-1} \left(\bar{S}_i \sum_{j=1}^{i-1} h_j - \bar{S}_{i-1} \sum_{j=1}^{N-1} h_j \right), \quad (19)$$

$$B(h, S) = \frac{2}{3} \left[\sum_{i=1}^{N-1} \bar{S}_i h_i - \sum_{i=2}^{N-1} \left(\bar{S}_i \sum_{j=1}^{i-1} \bar{S}_j h_j + \bar{S}_{i-1} \sum_{j=i}^{N-1} \bar{S}_j h_j \right) \right] +$$

$$+2 \sum_{i=2}^{N-1} \left[\bar{S}_i \sum_{j=1}^{i-1} h_j - \bar{S}_{i-1} \sum_{j=i}^{N-2} \left(h_j \sum_{m=j+1}^{N-1} \bar{S}_m \right) \right], \quad (20)$$

where $H = \sum_{j=1}^{N-1} h_j$ — the total capacity of the layers overlying the non-conductive base cut, $\bar{S}_i = S_i/S$ — relative longitudinal conduction layers.

As an example, coefficients A and B for some geoelectric cuts:

a) for a two-layer cut:

$$A = h, \quad B = \frac{2}{3}h; \quad (21)$$

б) for a three layered cut:

$$\left. \begin{aligned} A &= (h_1 + h_2) + \frac{1}{S}(S_2 h_1 - S_1 h_2), \\ B &= \frac{1}{S} \left\{ \frac{2}{3} \left[S_1 h_1 + S_2 h_2 - \frac{S_1 S_2}{S}(h_1 + h_2) \right] + 2S_2 h_1 \right\}; \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

в) for a four layered cut:

$$\left. \begin{aligned} A &= H + \frac{1}{S} [S_3(h_1 + h_2) + S_2(h_1 - h_3) - S_1(h_2 + h_3)], \\ B &= \frac{2}{3S} \left\{ S_1 h_1 + S_2 h_2 + S_3 h_3 - \frac{1}{S} [S_1 S_2(h_1 + h_2) + S_1 S_3(h_1 + h_3) + S_2 S_3(h_2 + h_3)] \right\} + \\ &\quad + \frac{2}{S} \left[S_2 h_1 + S_3(h_1 + h_2) - \frac{S_1 S_3}{S} h_2 \right], \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Applying the reverse Laplace transform (9) to (18) allows to obtain the critical transient feature of sub-integral function $\tilde{W}_1(m, t)$ as:

$$\tilde{W}_1(m, t) = -[1 - mB(h, S)] \cdot \exp \left\{ -\frac{2m^2 t}{\mu S} [A(h, S) - B(h, S)] \right\} \cdot \exp \left(-\frac{2mt}{\mu S} \right). \quad (24)$$

It is obvious that late stage of transients in the field of derivative by time of vertical component of magnetic induction may be obtained after analysis of analytical relations, received during calculations performed according to (7) and (8) algorithms [11]. However, unfortunately, integrals in (7) and (8) cannot be defined for $\tilde{W}_1(m, t)$ function. Then, bearing in mind, that the determination of late asymptote is performed through compression of sub-surface into layered overburden by tending vector of layer powers to zero ($h \rightarrow 0$), there is a reason to apply power-series expansion to (24) relatively A and B functional coefficients, because they have order of smallness $O(h)$, and limit this expansion with linear members. As a result, we have:

$$\tilde{W}_1(m, t) = - \left\{ 1 - mB(h, S) + m^2 \frac{2t}{\mu S} [B(h, S) - A(h, S)] \right\} \exp \left(-\frac{2mt}{\mu S} \right). \quad (25)$$

Now integrals in (7) and (8) can be analytically defined [12] and the result of calculating the critical transients can be written as:

a) Impulsion by electric dipole

$$\frac{\partial B_z}{\partial t} = \frac{K_E}{S} \left[\frac{\bar{t}}{(1 + \bar{t}^2)^{5/2}} - \left(\frac{2B(h, S) - A(h, S)}{r} \right) \frac{4\bar{t}^2 - 1}{(1 + \bar{t}^2)^{7/2}} + 5 \left(\frac{B(h, S) - A(h, S)}{r} \right) \frac{\bar{t}^2 (4\bar{t}^2 - 3)}{(1 + \bar{t}^2)^{9/2}} \right]; \quad (26)$$

б) Impulsion by magnetic dipole

$$\frac{\partial B_z^*}{\partial t} = \frac{K_M}{2S} \left[\frac{\bar{t} (2\bar{t}^2 - 3)}{(1 + \bar{t}^2)^{7/2}} - \left(\frac{2B(h, S) - A(h, S)}{r} \right) \cdot \frac{8\bar{t}^4 - 24\bar{t}^2 + 3}{(1 + \bar{t}^2)^{9/2}} + \right]$$

$$+5 \left(\frac{B(h, S) - A(h, S)}{r} \right) \cdot \frac{\bar{t}^2 (8\bar{t}^4 - 40\bar{t}^2 + 15)}{(1 + \bar{t}^2)^{11/2}} \Bigg], \quad (27)$$

where $\bar{t} = t/\tau_S$ — normalized transient time ($\tau_S = r\mu_0 S/2$ — field formation parameter, S — the total longitudinal conductivity of the layered strata overlying the base nonconductive cut).

The correctness of relations (26, 27) is confirmed with that they can provide a special case, which is a model of thin conductive layer, excited with uplifted impulsive source. For this purpose, the first layer in the three-layer model of cut should be converted into non-conductive one, its longitudinal conductance should be equal to zero ($S_1 = 0$), and the second layer should be transformed into thin conductive plane with longitudinal conductance $S_2 = \lim(\gamma_2 h_2)_{h_2 \rightarrow 0}$. Then, according to (22), functional coefficients will be identical

($A = B = 2h_1$) and relatively relations (26) and (27) will become the specified relations (15, 16) for model of thin conductive plane.

Asymptotical analysis of approximate temporary solutions (26) and (27) by time power series expansion with an accuracy of t^{-5} leads to result, which does not depend on field's excitation type, and it can be expressed as:

$$\frac{\partial B_z}{\partial t} \Bigg|_{t \rightarrow \infty} = K_E \cdot \left[\left(\frac{\tau_S}{t} \right)^4 - 8 \cdot \frac{2A(h, S) - 1, 5B(h, S)}{r} \left(\frac{\tau_S}{t} \right)^5 \right], \quad (28)$$

$$\frac{\partial B_z^*}{\partial t} \Bigg|_{t \rightarrow \infty} = K_M \cdot \left[\left(\frac{\tau_S}{t} \right)^4 - 8 \cdot \frac{2A(h, S) - 1, 5B(h, S)}{r} \left(\frac{\tau_S}{t} \right)^5 \right], \quad (29)$$

where K_E, K_M — setting the coefficients of electric and magnetic stimulation (Fig. 2).

Comparing (28), (29) and (6), we obtain the asymptotic limit (h_τ^a), which tends to average depth of the equivalent of a thin conductive layer $h_\tau(t)$ at $t \rightarrow \infty$:

$$h_\tau^a = h_\tau(t) \Big|_{t \rightarrow \infty} = 2A(h, S) - 1, 5B(h, S). \quad (30)$$

This parameter was mentioned in the beginning of article as an important informational parameter, which is often used at transformation of impulses of near-field transient by Sidorov-Tikshaev method [8]. Particularly, two-layered cut with critical asymptote of this parameter is a power of conductive layer ($h_\tau^a = H$), it confirms above-mentioned result, obtained by numerical analysis of real transient feature (Fig. 1).

For three-layered cut the asymptote of h_τ parameter is:

$$h_\tau^a = \left(H + \frac{S_1(h_1 S_2 - h_2 S_1)}{S^2} \right) = H \left[1 + \frac{\nu/\mu - \nu}{(1 + \nu)(1 + \nu/\mu)^2} \right], \quad (31)$$

where $H = h_1 + h_2$ — the total capacity of the conductive layers (h_1, h_2 — power of the first and second layers); $S = S_1 + S_2$ — total conductivity of the longitudinal cut: $S_1 = h_1/\rho_1, S_2 = h_2/\rho_2$ — longitudinal conduction layers (ρ_1, ρ_2 — resistivities of the layers); $\mu = \rho_2/\rho_1; \nu = h_2/h_1$. As it follows from (31) this asymptote carries information about the total power cut H adjusted for the effect of the parameters of layers – relationship longitudinal conductivities $S_2/S_1 = \nu/\mu$ and capacity $h_2/h_1 = \nu$.

Research depending on the module h_τ^a cut leads to a completely logical result:

$$h_\tau^a \Big|_{\mu \rightarrow 0} = h_1 + h_2 = H; \quad h_\tau^a \Big|_{\mu \rightarrow \infty} = \frac{h_1 + h_2}{1 + \nu} = h_1. \quad (32)$$

At the «resonant» power relationships and longitudinal conductivities of layers, which is expressed in the form

$$S_2/S_1 = 1 + 2h_2/h_1 \text{ или } \mu = \nu/(1 + 2\nu), \quad (33)$$

Asymptote h_τ^a has an extreme (maximum), depending on the ratio of capacity layers — module $\nu = h_2/h_1$ cut:

$$h_{\tau}^a, \max = (h_1 + h_2) \left[1 + \frac{1}{4} \frac{h_1^2}{(h_1 + h_2)^2} \right] = H \left[1 + \frac{1}{4(1+\nu)^2} \right]. \quad (34)$$

As follows from (34), the maximum value of this asymptote is limited: $h_{\tau, \max}^a \leq 1,25H$.

Figure 2 shows charts of time relations of depth of equivalent conductive layer h_{τ} for two-layered and three-layered cut types H and A , which were received due to numerical analysis of theoretically calculated transient features [5]. Also we cited the theoretically determined late asymptotes h_{τ}^a , which were calculated by using (31) formula. As shown in illustrations, everywhere curves $h_{\tau}(t)$ in the interval of late times match their theoretically determined asymptotes (dashed lines).

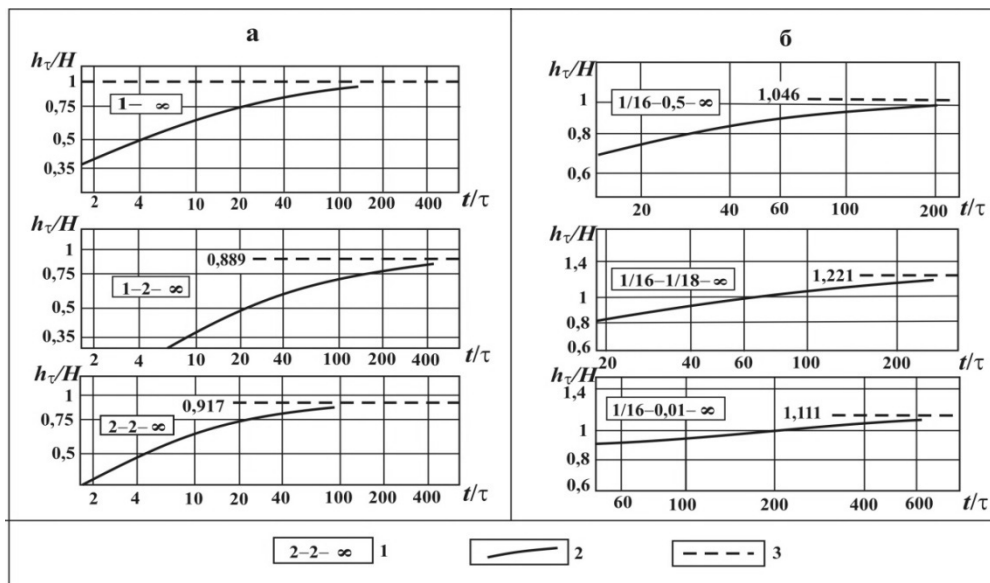


Figure 2. Time relations of parameter h_{τ}/H for two-layered cut (a) and three-layered cut of A (a) and H (b) types:
 1 — cut parameter: $h_2/h_1 - \rho_2/\rho_1 - \rho_3$; 2 — curve h_{τ}/H ; 3— asymptotes

Pay special attention to Figure 2, b. The graphics of three-layered cut of H type with identical values of $\nu = h_2/h_1 = 1/16$ modulus and different values of $\mu = \rho_2/\rho_1 = 0,01; 1/18; 0,5$ modulus. At $\mu = 1/18$ there will be specified condition of «resonance» relation of μ and ν modulus of cut ($\mu = \nu/(1 + 2\nu)$), where h_{τ}^a has a maximum. As shown at graphics, time relation $h_{\tau}(t)$ at $\mu = 1/18$ provides the value of asymptote $h_{\tau}^a/H = 1,221$, while at $\mu=0,5$ asymptote is equal to $h_{\tau}^a/H = 1,046$, and at $\mu = 0,01$ it will be $h_{\tau}^a/H = 1,111$. These confirms the presence of determined extreme peculiarity of asymptote h_{τ}^a .

Figure 3a shows a class of graphics of h_{τ}^a parameter dependence, which is expressed in unit power of over-supporting overburden H , from $\mu = \rho_2/\rho_1$ modulus of three-layered cut, while Fig. 3b shows the dependence of this parameter in the same relative concept from relation of longitudinal conductance of layers. A class of graphics were calculated for different values of modulus $\nu = h_2/h_1$: $1/64 \leq \nu \leq 32$. In fact, the both of curve classes are the alignment chart of coherence of h_{τ}^a parameter with power H of over-supporting part of three-layered cut.

As shown in the illustrations and above-reviewed analysis, asymptotic value of depth of equivalent conductive plane h_{τ}^a has extreme peculiarity, which becomes apparent well, when the power of intermediate layer is lower than the power of the first one, and the longitudinal conductance is commensurable. Meanwhile the less the power of intermediate layer is, the more the h_{τ}^a parameter exceeds the total power of conductive layers in the S_2/S_1 variation interval. So at $h_2/h_1 = 1/64$ $h_{\tau}^a > H$ in the interval of $0,1 < S_2/S_1 < 10$.

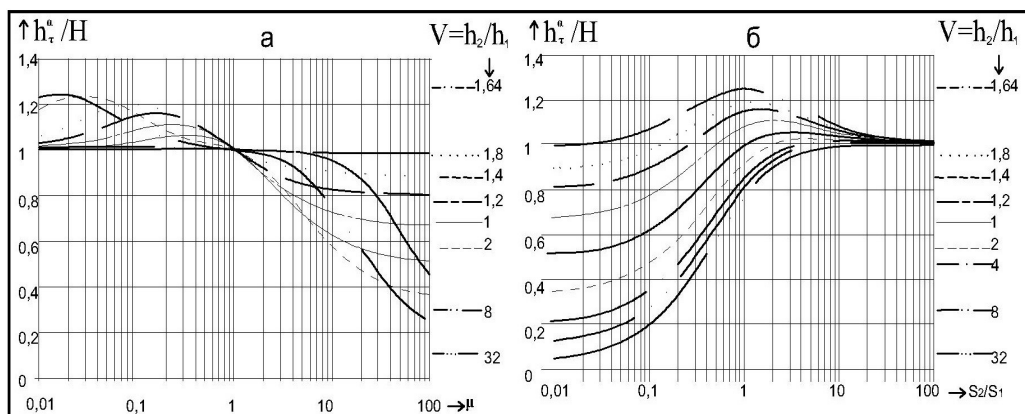


Figure 3. Dependence of h_{τ}^a/H from geoelectric features of three-layered cuts of H and A type: (on Fig. 3b values of h_1/H are marked with dotted lines)

At the same time, it was noted above, the extreme surpassing the total power of conductive layers is limited: $h_{\tau, \max}^a \leq 1,25H$. Analysis of calculation results testifies that at $1/2 < h_2/h_1 < 16$ and $S_2/S_1 > 2$ the parameter of h_{τ}^a can be used for determining the total power H of cut formation, which covers nonconductive basis, providing determination accuracy no less than 10%. At $h_2/h_1 > 1/2$ and $S_2/S_1 < 0,3$ this determination is linked with the significant inaccuracies. The dramatic decrease of longitudinal conductance of intermediate layer, in comparing with longitudinal conductance of layer, which covers it (such situation is typical for A type cuts), leads to distribution of the induced current mainly in the first layer. As a result, the asymptotic depth of equivalent thin layer in the time interval of field formation will be close to power of the first layer, which is shown on Fig. 3b (dotted lines on fig. 3b mark power of the first layer).

Conclusion. The performed calculations and their analysis completely confirm the correctness of obtained asymptotic approximation (28, 29) for late stage of transients in magnetic field of dipole sources, exciting layered media, underlain by an insulator. There was defined an analytical link between late stage of transient and the total longitudinal conductance of cut, moreover its link with the powers and conductance of separate layers. For the first time, the late asymptote of depth of equivalent conductive plane for layered media, underlain by an insulator, was determined analytically. The analysis of performed studies testifies about opportunity to use the late asymptote of transient for determining powers of conductive sediments, which cover the nonconductive basis of cut.

References

- 1 Тихонов А.Н. О становлении электрического тока в неоднородной слоистой среде // Изв. АН СССР. Серия геофизическая и географическая. — 1950. — XIV. — № 3.
- 2 Тихонов А.Н., Скугаревская О.А. О становлении электрического тока в неоднородной слоистой среде // Изв. АН СССР. Серия геофизическая и географическая. — 1950. — XIV. — № 4.
- 3 Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. — М.: Научный мир, 1997. — 218 с.
- 4 Ваньян Л.Л. Становление электромагнитного поля и его использование для решения задач структурной геологии. — Новосибирск: Наука, 1966. — 168 с.
- 5 Тихонов А.Н., Скугаревская О.А., Фролов П.П. Таблицы становления электромагнитного поля в слоистом пространстве. — Вып. 1. — М.: Изд-во МГУ, 1963. — 70 с.
- 6 Шейнман С.М. Об установлении электромагнитных полей в Земле // Прикладная геофизика. — 1947. — Вып. 3. — С. 3–55.
- 7 Сидоров В.А. Импульсная индуктивная электроразведка. — М.: Недра, 1985. — 192 с.
- 8 Гроза А.А. Переходные процессы в тонких проводящих слоях // Геофизический сборник. — 1976. — Вып. 72. — С. 30–44.
- 9 Рева Н.В., Руденко Т.В. О влиянии тонкого проводящего слоя на интегральные характеристики незаземленной индукционной петли // Теоретичні та прикладні проблеми геоінформатики (збірник наукових праць). — Київ, 2008. — С. 148–158.
- 10 Бейтмен Г. и Эрдейи А. Таблицы интегральных преобразований. Т. I. Преобразования Фурье, Лапласа, Меллина. — М.: Наука, 1969. — 344 с.
- 11 Шуман В.Н., Савин М.Г. Математические модели геоэлектрики. — Киев: Наук. думка, 2011. — 240 с.
- 12 Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Специальные функции. — М.: Наука, 1983. — 752 с.

Н.В. Рева, В.С. Портнов, Г.Г. Блялова, Э.Д. Маусымбаева

Диполь көздерінің магнит өрісіндегі өтпелі үрдістердің кейінгі асимптотасы туралы

Диполь көздерінің магнит өрісіндегі өтпелі үрдістердің кейінгі асимптотасы туралы тапсырмаларды шешу әдісі шығарылды. Бұл әдіс қуатты уақыт қатары түріндегі магнит өрісіндегі сигналдардың кейінгі асимптотасын анықтауға мүмкіндік береді, онда пропорционалды t^{-4} және қиманың суммалық көлденең өткізгіштігі туралы ақпарат тасушы, сонымен қатар пропорционалды t^{-5} қабаттардың өткізгіштігі мен қалыңдықтары туралы ақпарат құрайтын қатар мүшелері бар. Асимптотикалық шешімдердің ұсынылған алгоритмі өтпелі интеграл өзегінің ақпараттық функциясын алу арқылы анықталуымен негізделген, кешенді жазықтықтағы нақты осінде бір полюске ие және құрылымдық ұқсас операциялық функциясы моделі жұқа өткізгіш қабаты қозғалған жоғары көздерімен жүзеге асады. Тепе-тең, уақытша бірқатар мүшесі дәлдікпен асимптотикалық уақытша шешім пропорционалды нәтижесінде t^{-5} өткізгіш жазықтықтағы тереңдігі h_c кейінгі асимптота алынды — ақпараттың маңызды параметрі, ол кен орнын игеру әдісі эксперименттік мәліметтерді талдау кезінде пайдаланылды. Теориялық талдау үш қабатты учаскелерін импульстік саласындағы қалыптастыру үшін дамыту моделін растады. Бойлық өткізгіштік және электр қабаттарымен кейінгі асимптота h_c параметрінің функционалдық байланысы сараланған. Кейінгі асимптотаны негізгі қиманың жабылатын ток өткізбейтін өткізгіш қабаттардың сомалық қалыңдығын анықтау үшін қолдану мүмкіндігіне сараптама жасалды.

Кілт сөздер: кейінгі асимптота, магнит өрісі, изолятор, қос қабатты қима, функционалдық коэффициент, геоэлектрлік қима.

Н.В. Рева, В.С. Портнов, Г.Г. Блялова, А.Д. Маусымбаева

О поздней асимптоте переходных процессов в магнитном поле дипольных источников

Разработан способ решения задачи о поздней асимптоте переходных процессов в магнитном поле, дипольных источников, возбуждающих слоистые среды, подстилаемые изолятором. Способ позволяет определять поздние асимптоты сигналов становления магнитного поля в виде степенного временного ряда, в котором присутствуют как известный член ряда, пропорциональный t^{-4} и несущий информацию о суммарной продольной проводимости разреза, так и член ряда пропорциональный t^{-5} , содержащий информацию о мощностях и проводимостях слоев. Предложенный алгоритм асимптотического решения основан на определении переходной характеристики подынтегрального ядра через получение операционной информативной функции, имеющей один полюс на действительной оси комплексной плоскости и по своей структуре аналогичной операционной функции модели тонкого проводящего слоя, возбуждаемого приподнятыми источниками. В результате асимптотического временного решения с точностью до члена временного ряда, пропорционального t^{-5} , получена поздняя асимптота глубины эквивалентной проводящей плоскости h_c -важного информационного параметра, используемого в процессе анализа экспериментальных данных в методе становления поля. Теоретические разработки подтверждены анализом модельных импульсов становления поля для трехслойных разрезов. Проанализированы особенности функциональной связи поздней асимптоты параметра h_c с продольными проводимостями и мощностями слоев. Выполнен анализ возможности использования поздней асимптоты для определения суммарной мощности проводящих отложений, перекрывающих непроводящее основание разреза.

Ключевые слова: поздняя асимптота, магнитное поле, изолятор, двухслойный разрез, геоэлектрический разрез.

References

- 1 Tikhonov A.N. *News of the Academy of Sciences of the USSR, a series of geophysical and geographical*, 1950, XIV, 3.
- 2 Tikhonov A.N., Skugarevskaya O.A. *About establishment of an electric current in an inhomogeneous layered medium // News of the Academy of Sciences of the USSR, a series of geophysical and geographical*, 1950, XIV, 4.
- 3 Vanyan L.L. *Electromagnetic sensing*, Moscow: Nauchnyi mir, 1997, 218 p.
- 4 Vanyan L.L. *The formation of the electromagnetic field and its use to solve the problems of structural geology*, Novosibirsk: Nauka, 1966, 168 p.

- 5 Tikhonov A.N., Skugarevskaya O.A., Frolov P.P. *Tables of the electromagnetic field in a layered formation space*, 1, Moscow: Publishing house of the Moscow State University, 1963, 70 p.
- 6 Scheinman S.M. *Applied Geophysics*, 1947, 3, p. 3–55.
- 7 Sidorov V.A. *Pulsed inductive electrical prospecting*, Moscow: Nedra, 1985, 192 p.
- 8 Groza A.A. *Geophysical collection*, 1976, 72, p. 30–44.
- 9 Reva N.V., Rudenko T.V. *Theoretical and applied problems Geoinformatics (collection of papers)*, Kiev, 2008, p. 148–158.
- 10 Bateman H., Erdelyi A. *Tables of integral transforms*. Tom I. Fourier Transform, Laplace, Mellin, Moscow: Nauka, 1969, 344 p.
- 11 Shuman V.N., Savin M.G. *Mathematical models geoelectrics*, Kiev: Naukova Dumka, 2011, 240 p.
- 12 Prudnikov A.P., Brychkov Yu.A., Marichev O.I. *Integrals and Series. Special features*, Moscow: Nauka, 1983, 752 p.

В.А. Скуратов¹, М.М. Сайфулин^{1,2}, Г.М. Аралбаева³, Ж.Г. О'Коннелл⁴, А.Д. ван Вуурен⁴

*Объединенный институт ядерных исследований им. Флерова, Дубна, Россия;
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия;
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
Столичный университет им. Нельсона Манделы, Порт Элизабет, Южная Африка
(E-mail: agm_555@mail.ru)*

Повреждение диоксида титана вблизи поверхности после облучения быстрыми тяжелыми ионами

Реакция материала на облучение быстрыми тяжелыми ионами простых оксидов, таких как TiO_2 , заметно отличается вблизи поверхности кристалла, чем в объеме. В этой приповерхностной области толщиной несколько десятков нанометров материал обладает значительно более высокой чувствительностью к повреждениям. Повышенная чувствительность материала в этой области связана с близостью свободной поверхности и слабо зависит от электронного торможения. По крайней мере, для этих материалов предположение о цилиндрических латентных треках является неоднозначным и большое внимание следует уделить им при определении радиусов треков косвенными методами. Прямое наблюдение с помощью просвечивающей электронной микроскопии может также легко привести к сильной переоценке радиусов треков, когда применяются стандартные методы подготовки образца. Мы предполагаем, что пониженное внутреннее давление в кристалле в окрестности свободной поверхности действует как стимулирующий фактор для усиления чувствительности. Более низкое давление приводит к увеличению вероятности фазовых изменений из-за повышенных температур в ядре трека, и увеличение объема приводит к образованию хиллоков на поверхности кристалла.

Ключевые слова: хиллоки, латентные треки, быстрые тяжелые ионы, аморфизация, электронная микроскопия, потери энергии, радиус треков, пробег иона.

1 Введение

Наблюдение морфологии латентных треков быстрых тяжелых ионов (БТИ) осуществляется при помощи разнообразных методов, среди которых можно выделить просвечивающую электронную микроскопию, резерфордовское обратное рассеяние в режиме каналирования, мёсбауэровскую спектроскопию электронов конверсии, или малоугловое рассеяние рентгеновских лучей. Единственным методом, позволяющим непосредственно прямое наблюдение латентных треков, является просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ), в то время как все остальные методы считаются косвенными и основаны на предположении о том, что латентные треки непрерывны и по своей природе имеют цилиндрическую форму. Это предположение в значительной степени было подтверждено многочисленными наблюдениями латентных треков с использованием просвечивающей электронной микроскопии. Однако поскольку для проведения наблюдений ПЭМ необходимо, чтобы пучок электронов был способен насквозь проходить через образец, толщина исследуемых материалов обычно составляет ~ 100 нм или меньше. Это требование приводит к двум возможным ситуациям: 1) облучаются объёмные образцы и затем утоняются для проведения электронной микроскопии; 2) облучаются предварительно утоненные образцы. Морфология треков, полученная для этих двух режимов, предполагается идентичной, поэтому при сборе данных с целью выяснения общих тенденций в образовании повреждений БТИ не выделяется никаких различий между данными, полученными в результате экспериментов с различной подготовкой образцов. Довольно часто не сообщается точно, на какой глубине от облученной поверхности были получены данные для образцов ПЭМ в планарной геометрии.

Одним из таких примеров может быть работа [1], где представлены изображения латентных треков быстрых тяжелых ионов в TiO_2 , полученные методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения в планарной геометрии. Данные этой работы свидетельствуют о том, что по своей природе треки являются аморфными, а их диаметр в пределах нескольких нанометров зависит от плотности ионизационных потерь энергии S_e (в интервале $13,54\text{--}27,9$ кэВ·нм⁻¹). Однако в этой работе мы продемонстрируем, что лишь несколько десятков нанометров ниже облученной поверхности TiO_2 являются аморфными даже при значениях S_e выше $40,1$ кэВ·нм⁻¹ для ионов Bi с энергией 1 ГэВ. Хотя авторы работы [1] не сообщают об этом в явном виде, можно догадаться из эксперимен-

тального описания, что они берут на пробу только область толщиной ~ 100 нм вблизи поверхности, что и объясняет наблюдение аморфных треков. Этот факт ставит под сомнение общую справедливость предположения о наличии цилиндрического трека в TiO_2 и аналогичных материалах, особенно применимо к косвенным методам, где проба берется относительно неглубоко от поверхности образца, таких как резерфордское обратное рассеяние в режиме каналирования. Для понимания механизма переноса энергии между БТИ и диэлектрическими кристаллами, помимо параметров латентных треков, важную роль также играет характеристика хиллоков на поверхности. Первое ПЭМ наблюдение хиллоков было проведено на кристаллах CeO_2 в работе [2]. До этой работы хиллоки на поверхности характеризовались преимущественно с использованием атомно-силовой микроскопии (АСМ) [3–7]. Этот метод имеет недостатки по сравнению с ПЭМ из-за артефактов, вызванных физическим размером кончика зонда и отсутствием возможности различать кристаллические и аморфные хиллоки. В этой работе мы используем иной подход по сравнению с работой [2] для подготовки ПЭМ образцов для наблюдения хиллоков. Сфокусированный ионный пучок (СИП), на котором основан наш метод, имеет преимущество в том, что он совместим как с массивными, так и предварительно утоненными образцами, хотя аморфное углеродное покрытие, используемое в методе СИП, во время ПЭМ наблюдений в некоторой степени уменьшает контраст решетки.

2 Эксперимент

Монокристаллы TiO_2 (рутил) с ориентацией (110) были приобретены у компании MTI Corporation (США). Образцы облучались ионами Хе с энергией 167 МэВ (2×10^{10} ион/см² – 1×10^{11} ион/см²) и ионами Вi с энергиями 700 МэВ (1×10^{10} ион/см²), 1 ГэВ (1×10^{10} ион/см²) и 2,4 ГэВ (2×10^9 ион/см²) на ускорителях ИЦ-100 и У400 в ЛЯР, ОИЯИ в Дубне (Россия) и циклотроне ДЦ-60 в Астане (Казахстан). Величина ионизационных потерь энергии при данных условиях облучения рассчитывалась при помощи кода SRIM 2008 [8]. Облучение во всех случаях проводилось при комнатной температуре. В экспериментах использовались как массивные, так и предварительно утоненные образцы. Подготовка ПЭМ образцов осуществлялась либо путем механической полировки, с последующей ионной полировкой пучком Аг, либо при помощи метода сфокусированного ионного пучка. Механически утоненные образцы полировались до 2 мкм, с последующей полировкой пучком ионов Аг на установке Gatan PIPS с энергией пучка на финальном этапе 500 эВ и углом падения 4° для того, чтобы снизить повреждения, вызванные ионами. Сфокусированным ионным пучком ламели изготавливались, используя FEI HeliosNanolab 650, с финальной полировкой ионами 500 эВ Ga. Для того чтобы защитить хиллоки на поверхности и части трека вблизи облученной поверхности, до того как осаждать основной защитный углеродный слой пучком ионов Ga, был осажден начальный защитный слой аморфного углерода при помощи электронного пучка с ускоряющим напряжением 1 кВ. Начальный углеродный слой, по меньшей мере, имел толщину ~ 100 нм, что более чем в два раза превышает максимальный пробег ионов 30 keV Ga в аморфном углероде. Этот слой успешно защищает поверхность от повреждений ионами Ga, которые в противном случае уничтожили бы мелкие детали на поверхности. В большинстве случаев при изготовлении ПЭМ образцов методом сфокусированного ионного пучка используется защитный слой Pt, однако углерод имеет преимущество в том плане, что он имеет меньшую плотность (улучшает электронный просвет) и аморфную форму (снижает нежелательный дифракционный контраст у поверхности образца), что в противном случае было бы помехой при наблюдении контраста решетки в хиллоках. ПЭМ/СПЭМ анализ осуществлялся при помощи электронного микроскопа JEOL ARM 200F, работающего при напряжении 200 кВ. Система была оснащена спектрометром Gatan GIF Quantum EELS, используемым при оценке толщины образца. Образцы, изготовленные при помощи полировки ионами Аг, были утонены до облучения быстрыми тяжелыми ионами для того, чтобы изучить морфологию трека в зависимости от толщины образца. В этих образцах ПЭМ ламели в продольном сечении извлекались с помощью сфокусированного ионного пучка уже после облучения.

3. Результаты

3.1 Предварительно утоненные образцы

На рисунке 1(а) показана ПЭМ микрофотография в светлом поле в планарной геометрии для отверстия в кристалле TiO_2 , который был утонен до электронной прозрачности (при помощи PIPS) до облучения быстрыми тяжелыми ионами. Здесь отдельные латентные треки от ионов 167 МэВ Хе представлены в виде ярких пятен около границы отверстия и темных пятен на большем расстоянии

от отверстия в нижнем левом углу изображения. На рисунке 1(b) представлен снимок ПЭМ высокого разрешения одного из светлых пятен, ясно демонстрируя аморфное ядро трека. Характерные черты трека на данном снимке довольно похожи на те, что были представлены в работе [1], и соответствуют всем трекам в тонкой области вокруг границы отверстия. На рисунке 1(c) изображена ПЭМ микрофотография трека из нижнего левого угла рисунка 1(a), где образец значительно толще и в контрасте светлого поля темные участки соответствуют кристаллическим областям. Из рисунка 1(c) ясно видно, что сохраняется значительная кристалличность в основании трека (в проекции сквозь образец), а также наблюдается высокий уровень напряжения. Рисунок 1(c) воспроизводит все из наблюдаемых треков в более толстой области образца. Ясно видно, что существует некоторый переход от аморфного к кристаллическому состоянию латентного трека, в зависимости от толщины облучаемого образца. Однако средний диаметр трека оказывается неизменным около 8 нм для 167 МэВ Хе, независимо от аморфной/кристаллической формы трека.

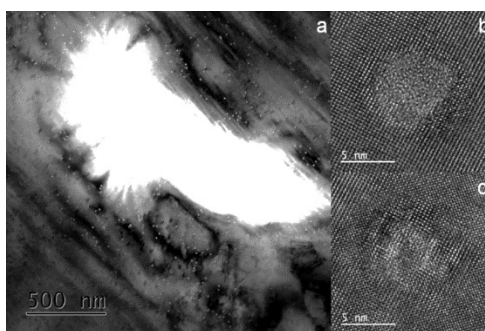


Рисунок 1. (a) — микрофотография ПЭМ в светлом поле для отверстия в предварительно утоненном кристалле TiO_2 после облучения 167 МэВ Хе до $2 \cdot 10^{10}$ ион/см². Латентные треки имеют вид светлых пятен вблизи отверстия и темных пятен в более отдаленных областях. (b) — Снимок ПЭМ высокого разрешения одного из светлых латентных треков. (c) — Снимок ПЭМ высокого разрешения одного из темных латентных треков

На рисунке 2(a) показана микрофотография в светлом поле того же образца, что и на рисунке 1 с аморфными треками в верхнем левом углу и кристаллическими треками в противоположном нижнем правом углу. На рисунке 2(b) показана карта толщины, энергетически фильтруемой ПЭМ, которая демонстрирует нам, что переход от светлых круглых аморфных треков к темным кристаллическим происходит, когда толщина образца превышает приблизительно от 180 до 230 нм. Чтобы откалибровать карту толщины, используя метод, приведенный ранее в работе [9], была рассчитана неупругая длина свободного пробега 200 кэВ электронов в TiO_2 , полагая ширину запрещенной зоны для рутила 3,3 эВ [10], что на выходе дает значение 192 нм.

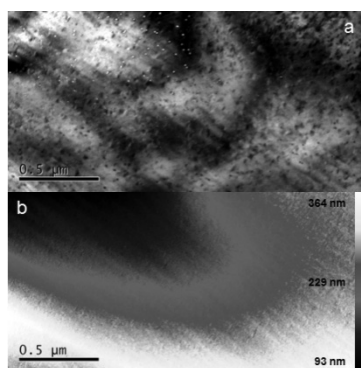


Рисунок 2. (a) — ПЭМ снимок различных областей того же образца, что и на рисунке 1. (b) — карта толщины отфильтрованного по энергиям ПЭМ снимок участка, показанного на (a)

Микрограмма ПЭМ в кольцевом темном поле под высоким углом на рисунке 3 четко показывает низкую плотность конических структур, простирающихся от поверхности образца до приблизительно 80 нм внутрь (указано штрихованными линиями) в более толстых областях образца. В более тонких местах образца возникают участки более низкой плотности, непрерывно проходящие сквозь образец.

Пониженная плотность этих структур подтверждается более слабой интенсивностью сигнала при электронной микроскопии в темном поле. Области с меньшей плотностью имеют прикрепленные к ним хиллоки на поверхности — как на поверхности входа, так и на поверхности выхода иона из образца. Поскольку типичный образец ПЭМ имеет толщину менее 100 нм, легко понять, почему наблюдения, сделанные на предварительно утоненных образцах, приводят к выводу об аморфных латентных треках. Также это относится и к образцам, утоненным после облучения, где образец утоняется от необлученной стороны в направлении к облученной поверхности.

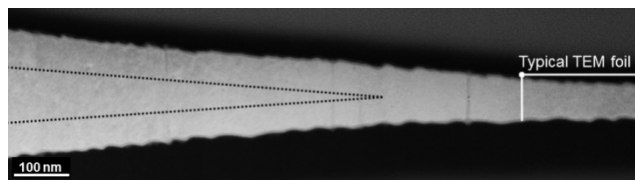


Рисунок 3. ПЭМ микрограмма, демонстрирующая непрерывные треки низкой плотности в более тонких участках образца, которые становятся прерывистыми в центральной части образца с ростом толщины

3.2 Образцы, утоненные после облучения

Ранее уже демонстрировалось в работе [11], что ПЭМ в светлом поле в сечении вдоль траектории ионов для TiO_2 , облученного ионами 700 МэВ Bi , показывает низкую плотность конических объектов, похожих на те, что на рисунке 3. Эти конические объекты также присоединены к поверхностным хиллокам и простираются внутрь кристалла до глубины 70–80 нм. После этой глубины треки становятся прерывистыми, а темный дифракционный контраст говорит о том, что эти области состоят из напряженного кристаллического материала. Расфокусированные микрофотографии также показывают, что сами конические структуры состоят из небольших 1–2 нм частичек. На рисунке 4(а) показан снимок ПЭМ в светлом поле области вблизи поверхности кристалла TiO_2 , облученного под углом 45° ионами 700 МэВ Bi , до флюенса 10^{10} ион/см².

Конические структуры хорошо видны в приповерхностной области, при этом они значительно длиннее, чем при нормальном облучении. Однако проекция на нормальную глубину проникновения от поверхности снова составляет 70–80 нм, указывая на то, что образование этих объектов, вероятно, связано с наличием рядом свободной поверхности. Снимок также показывает, что хиллоки расположены вдоль пути ионов, поддерживая идею о том, что хиллоки образуются в результате выхода материала на поверхность из конического участка, который после этого имеет пониженную плотность. ПЭМ микрофотография на рисунке 4(б) показывает, что хиллоки имеют кристаллическую структуру и эпитаксиально связаны с исходным кристаллом. На рисунке 4(с) изображена увеличенная часть объема TiO_2 с рисунка 4(б), со схематическим наложением структуры рутила вдоль наблюдаемой оси зоны $[-110]$ с красными точками, обозначающими колонки Ti , и синими точками, обозначающими колонки O . Ясно, что изменение светлых и темных атомных колонок в сигнале микроскопии в темном поле передает колонки Ti и $\text{Ti} + \text{O}$ соответственно. Профили интенсивности на рисунке 4(д) и (е) были записаны в объеме и в области хиллоков соответственно, и оба содержат этот рисунок изменяющегося контраста, который показывает, что кристаллическая структура образца содержится внутри хиллока. Заниженный контраст в хиллоке связан с относительно тонким аморфным слоем углерода, который включает в себя хиллоки из-за подготовки образца фокусированным ионным пучком, но все же есть возможность различить заниженные пики между колонками чистого Ti . На рисунке 5(а) показана микрофотография ПЭМ в светлом поле участка вблизи границы кристалла TiO_2 , облученного 167 МэВ Xe до 10^{11} ион/см². Образец извлекался из массивного облученного кристалла методом фокусированного ионного пучка, расположив кристалл на боковой стороне так, чтобы облученная поверхность была в плоскости изображения.

Ламели извлекались из глубины порядка 1,5 мкм от облученной поверхности в плоскости, параллельной облученной поверхности. Первоначальная граница кристалла изображена слева направо вдоль изображения с небольшим количеством аморфного углерода, который был осажден перед обработкой фокусированным ионным пучком сверху. Область вблизи края кристалла демонстрирует светлый контраст на ионных треках, и диаметр треков уменьшается с расстоянием от границы кристалла в глубь материала. На глубине около 70–80 нм переход контраста латентных треков со светлого

на темный указывает на смену аморфного материала на кристаллический с некоторым напряжением. Снимок ПЭМ высокого разрешения на рисунке 5(b) был снят на участке, выделенном на рисунке 5(a).

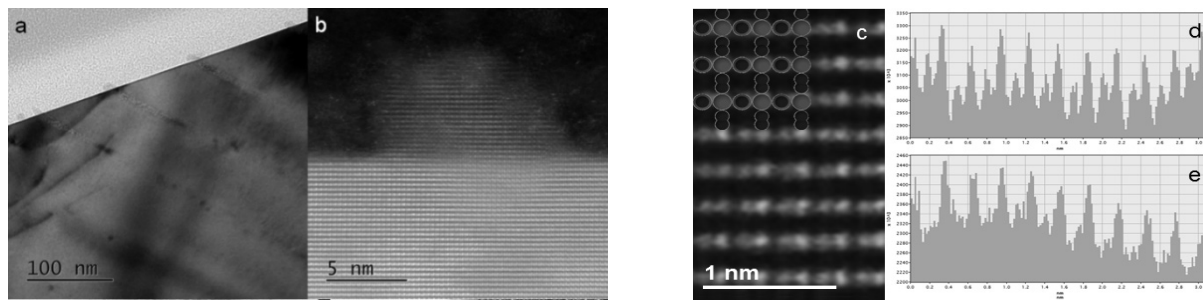


Рисунок 4. ПЭМ микрофотография в продольном сечении трека в TiO_2 , облученном 700 МэВ Вi, под углом 45 градусов (а), и микрофотография ПЭМ одного из хиллоков на поверхности (б) в увеличенном виде массивной части образца (с). Проекция рутила [-110], наложенная на изображение, в то время как (d) и (e) — профили интенсивности, полученные из областей массивного образца и хиллока соответственно

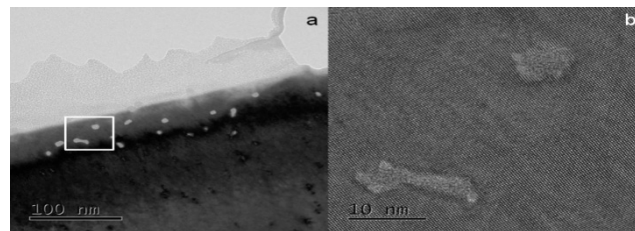


Рисунок 5. (а) — снимок ПЭМ в планарной геометрии кристалла TiO_2 , облученного ионами 167 МэВ Хе. Ламель извлекалась из плоскости параллельно облученной плоскости с глубины 1,5 мкм от поверхности.

(б) — ПЭМ снимок высокого разрешения участка, выделенного на рисунке (а), демонстрирующий аморфную форму латентных треков около границы кристалла

Аморфная структура ионного трека явно видна на этом снимке. Треки, имеющие темный контраст, снова оказались кристаллическими, но сильнонапряженными, как на рисунке 1(с). Это наблюдение снова подтверждает, что кристаллическая/аморфная форма латентных треков определяется наличием поблизости свободной поверхности. Поскольку плотность ионизационных потерь энергии изменяется от 24,3 кэВ/нм у поверхности до 23,2 кэВ/нм на глубине 1,5 мкм от поверхности и 21,5 кэВ/нм на глубине 3 мкм, мы также можем заключить, что аморфная/кристаллическая структура не зависит сильно от S_e , возможно, кроме некоторого меньшего порогового значения для образования треков. В действительности, предыдущие результаты [3] уже указывали, что порог ионизационных потерь энергии для повреждения, наблюдаемого при помощи ПЭМ, в TiO_2 находится в области 7,3 кэВ/нм. На рисунках 6(а-е) показаны ПЭМ снимки в светлом поле в сечении вдоль трека вблизи поверхности TiO_2 , облученного 1 ГэВ Вi (поверхность входа), 700 МэВ Вi (поверхность входа), 700 МэВ Вi (поверхность выхода из образца толщиной 14 мкм), и 167 МэВ Хе (поверхность входа) соответственно. Эти изображения соответствуют плотностям ионизационных потерь энергии 40,1, 39,2, 34,7, 29,9 и 24,3 кэВ/нм соответственно.

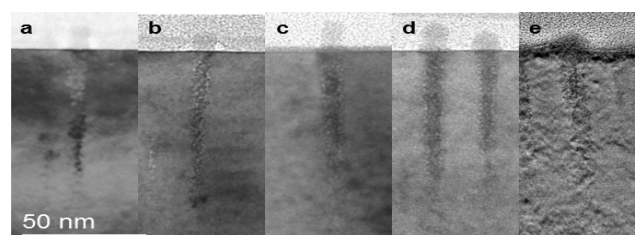


Рисунок 6. От (а) до (е) — конические треки вблизи поверхности TiO_2 , облученного быстрыми тяжелыми ионами при значениях S_e 40,1, 39,2, 34,7, 29,9, и 24,3 кэВ/нм соответственно

Во всех случаях общая структура конической области остается неизменной в том смысле, что все конусы демонстрируют контраст Френеля низкой плотности, указывающий, что структуры состоят из небольших диаметром 1–2 нм зон низкой плотности. Точная природа этих зон низкой плотности и окружающего материала не определена и возможно, что области между низкоплотными участками имеют кристаллическую структуру. Однако в силу того, что толщина образца сравнима с размером структур, невозможно напрямую изобразить границу между этими зонами, и проекция доминирует вкладом относительно высокого объема зон низкой плотности, которые аморфны. Все конусы присоединены на поверхности к хиллокам сферической формы с диаметром около 10 ± 1 нм. Каждый конус проникает в глубь кристалла до 70–80 нм, что, кажется, не зависит от S_e .

На рисунке 7(a) представлен снимок ПЭМ в светлом поле в продольном сечении для Al_2O_3 , облученного 700 МэВ Bi , и на рисунке 7(b) представлена подобная микрофотография для YSZ, облученного ионами Bi с энергией 2,4 ГэВ. Эти материалы демонстрируют похожую коническую структуру трека, как и TiO_2 . В случае Al_2O_3 , похоже, что составляющие конус области с низкой плотностью имеют больший размер и возможно имеют многогранный характер. Эффекты, изучаемые в работе [12], в YSZ после облучения 940 МэВ Pb имеют похожие конические структуры среди представленных данных, однако авторы работы не уделяют особого внимания этому вопросу.

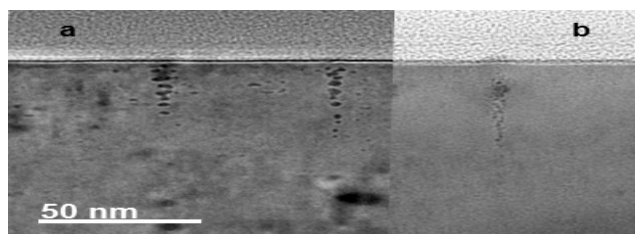


Рисунок 7. ПЭМ снимок в светлом поле в геометрии продольного сечения трека в Al_2O_3 , облученном 700 МэВ Bi (a) и YSZ, облученном 2,4 ГэВ Bi (b)

ПЭМ микрофотографии в светлом поле из работы [2] для случая SeO_2 , облученного 200 МэВ Au , также демонстрируют признаки коничности вблизи поверхности. Их образцы были утонены до облучения. В связи с этим можно различить форму двойного конуса для ионных треков, прикрепленных к сферическим хиллокам на верхней и нижней поверхностях образца. Эта форма особенно различима для треков, расположенных на расстоянии от края образца, где пленка более тонкая. Похоже, что коническая форма трека вблизи поверхности может быть общим явлением для этих оксидов и не является лишь частным случаем для TiO_2 . Разумеется, в случае SeO_2 это является предположением. Должны исследоваться только массивные образцы для того, чтобы подтвердить наличие конических структур вблизи поверхности. Однако не похоже, что более сложные системы, такие как $Gd_2Ti_2O_7$ [13] и $Gd_2Zr_2O_7$ [14], имеют такие структуры около поверхности после облучения быстрыми тяжелыми ионами, и треки в этих кристаллах выглядят цилиндрическими.

Авторы в работе [13] исследовали морфологию ионных треков $Gd_2Ti_2O_7$, облученного ионами 120 МэВ U по всей длине трека, используя методы, включая ПЭМ высокого разрешения. Они заметили четыре различных области вдоль длины трека, отвечающие различным режимам потерь энергии. В рамках нашего исследования интересна первая область сразу под облученной поверхностью, где ионизационные потери энергии намного больше упругих потерь энергии. В этой области авторы сообщают о цилиндрических аморфных латентных треках, хотя данные на их изображениях не включают в себя хиллоки на поверхности, приводя к некоторой неопределенности точной глубины от облученной поверхности.

4 Выводы

Мы продемонстрировали существование четко отличающейся микроструктуры латентных треков, вызванных быстрыми тяжелыми ионами в приповерхностной области TiO_2 . Насколько нам известно, первым упоминанием о таких значимых отличиях в морфологии треков около поверхности считается работа [11], и в данной работе мы сообщили о результатах более детального изучения явления. Вероятным объяснением приповерхностной аморфизации может быть пониженное внутреннее давление в кристалле вблизи свободной поверхности. После прохождения быстрого тяжелого иона кристаллическая решетка нагревается до высокой температуры вдоль центра трека из-за энергии,

переданной быстрым тяжелым ионом. Однако температуры плавления и испарения будут значительно выше внутри кристалла по причине более высокого давления вокруг трека, поскольку нагретый материал начинает расширяться. Это внутреннее давление будет спадать до минимума вблизи свободной поверхности и быстро возрастать в зависимости от глубины. Вблизи поверхности, где давление достаточно мало, может возникать фактическое плавление в треке, приводя к выдавливанию материала на поверхность, где он будет образовывать хиллок. Поскольку часть материала была удалена из трека, давление будет уменьшаться дальше внутри приповерхностного объема.

В [1] приводятся рассчитанные температуры решетки внутри трека для рутила, облученного различными ионами с S_e , меняющимся в диапазоне 6,33–27,9 кэВ/нм, демонстрируя, что для S_e выше 21,46 кэВ/нм температура в центре трека может достигать точки плавления TiO_2 (3200 К). Минимальное значение электронных потерь энергии, полученное в исследовании, составило 24,3 кэВ/нм. С учетом этого, а также пониженного внутреннего давления около поверхности кристалла, можно предположить, что наблюдаемая структура конического трека может быть результатом локального быстропротекающего кипения материала. Еще глубже в материале высокое давление предотвращает существенное расширение и разупорядочение атомов. Из-за этого структура внутри трека существенно не меняется. В этом случае локальные кристаллические искажения, возможно, закаляются, образуя наблюдаемые поля напряжений вдоль центра трека. Похожие наблюдения сделаны для ориентаций вдоль края кристалла, перпендикулярного направлению ионного пучка. Вблизи свободной поверхности внутреннее давление понижено в связи с возможностью поверхности свободно расширяться. В этом приповерхностном объеме сердцевина трека может расширяться более свободно, и фазовый переход в материале более вероятен. Это объясняет наблюдаемую тенденцию пониженного диаметра аморфного трека в зависимости от расстояния до границы кристалла.

Как обсуждалось ранее в работе [2], форма и структура хиллоков на поверхности — это важная информация для понимания механизма передачи энергии от быстрых тяжелых ионов кристаллам, поскольку характер хиллоков тесно связан с механизмом образования как самих хиллоков, так и латентных треков. Эпитаксиальный кристаллический характер хиллоков указывает на то, что скорость остывания достаточно мала, чтобы происходила рекристаллизация. Поскольку хиллоки эпитаксиальные, скорее всего, они рекристаллизуются со стороны поверхности кристалла, а не со стороны вакуума. Это, вероятнее всего, так, поскольку кристаллическая поверхность будет отводить тепло намного быстрее, чем вакуум. Существует некоторая неопределенность в том, как хиллоки могут рекристаллизоваться на предположительно аморфных треках. Однако ответ может быть найден в наблюдаемом размере хиллоков, который немного больше, чем диаметр аморфных латентных треков под ними. Это могло бы позволить расплавленному материалу рекристаллизоваться на шаблоне, предоставляемом кристаллическим материалом, окружающим сердцевину трека. Плотность материала внутри трека слишком мала для формирования полностью кристаллической структуры, поскольку некоторая часть материала вышла на поверхность. Эта область содержит высокую концентрацию маленьких кармашков с низкой плотностью, образованных из-за извлеченного материала. Как уже было упомянуто ранее, точный характер этих участков не известен, но ПЭМ исследования предполагают, что они в основном аморфные, когда наблюдаются в проекции, хотя относительно небольшие объемы кристаллических участков были бы незаметны. Тот факт, что хиллоки, образованные в результате падения ионов под углом 45° , ориентированы вдоль направления траектории ионов, также говорит в пользу идеи о том, что хиллоки образуются из вещества, вышедшего на поверхность из приповерхностной области ионного трека.

Список литературы

- 1 Awazu K. *et al.* Structure of latent tracks in rutile single crystal of titanium dioxide induced by swift heavy ions // J. Appl. Phys. AIP Publishing. — 2006. — Vol. 100. — № 4. — P. 44308.
- 2 Ishikawa N., Okubo N., Taguchi T. Experimental evidence of crystalline hillocks created by irradiation of CeO_2 with swift heavy ions: TEM study // Nanotechnology. — 2015. — Vol. 26. — № 35. — P. 355701.
- 3 Hazem R. *et al.* Radiation damage induced by swift heavy ions in TiO_2 sol-gel films nanocrystallines // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B. — 2013. — Vol. 304. — P. 16–22.
- 4 Popok V.N. *et al.* Formation of surface nanostructures on rutile (TiO_2): comparative study of low-energy cluster ion and high-energy monoatomic ion impact // J. Phys. D. Appl. Phys. IOP Publishing. — 2009. — Vol. 42. — № 20. — P. 205–303.
- 5 Aumayr F. *et al.* Single ion induced surface nanostructures: a comparison between slow highly charged and swift heavy ions // J. Phys. Condens. Matter. IOP Publishing. — 2011. — Vol. 23. — № 39. — P. 393001.

- 6 *Thevenard P. et al.* Electron emission devices formed by energetic cluster impacts on TiO₂ rutile // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B. — 2000. — Vol. 166. — P. 788–792.
- 7 *Akcöltekin E. et al.* Creation of multiple nanodots by single ions // Nat. Nanotechnology, Publ. online 29 April 2007; doi:10.1038/nnano.2007.109. Nature Publishing Group, 2007. — Vol. 2. — № 5. — P. 290.
- 8 *Ziegler J.F., Biersack J.P.* The Stopping and Range of Ions in Matter // Treatise on Heavy-Ion Science. Boston, MA: Springer US, 1985. — P. 93–129.
- 9 *Tanuma S., Powell C.J., Penn D.R.* Calculations of electron inelastic mean free paths (IMFSP). IV. Evaluation of calculated IMFSPs and of the predictive IMFSP formula TPP-2 for electron energies between 50 and 2000 eV // Surf. Interface Anal. John Wiley & Sons Ltd. — 1993. — Vol. 20. — № 1. — P. 77–89.
- 10 *Amor S.B. et al.* Influence of the temperature on the properties of sputtered titanium oxide films // Mater. Chem. Phys. — 2003. — Vol. 77. — № 3. — P. 903–911.
- 11 *O'Connell J.H. et al.* EM study of latent track morphology in TiO₂ single crystals // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B. — 2016.
- 12 *Moll S. et al.* Damage induced by electronic excitation in ion-irradiated yttria-stabilized zirconia // J. Appl. Phys. AIP Publishing. — 2009. — Vol. 105. — № 2. — P. 23512.
- 13 *Jozwik-Biala I. et al.* Effect of combined local variations in elastic and inelastic energy losses on the morphology of tracks in ion-irradiated materials // Acta Mater. — 2013. — Vol. 61. — № 12. — P. 4669–4675.
- 14 *Zhang J. et al.* Liquid-like phase formation in Gd₂Zr₂O₇ by extremely ionizing irradiation // J. Appl. Phys. AIP Publishing. — 2009. — Vol. 105. — № 11. — P. 113–510.

В.А. Скуратов, М.М. Сайфулин, Г.М. Аралбаева, Ж.Г. О'Коннелл, А.Д. ван Вуурен

Жылдам ауыр иондармен сәулендіргеннен кейін титан диоксид бетінің зақымдануы

TiO₂ сияқты, қарапайым оксидтерді жылдам ауыр иондармен сәулендіру кезінде материалдардың реакциясы көлеміне қарағанда кристалл беткі маңында едәуір айырмашылықтар білінді. Осы беткі аймағында қалыңдығы бірнеше ондаған нанометр болатын материал бүлінуге әлдеқайда жоғары сезімтал екенін көрсетті. Сезімталдығы жоғары материал бұл аймақтағы еркін бетінің жақын маңына байланысты және ол электрондық тежеуге әлсіз тәуелді болады. Кем дегенде, осы материалдар үшін, цилиндрлі латентті тректер болжамы бойынша, бірдей және назарды жанама әдістер арқылы тректердің радиусы анықталуы тиіс. Тікелей ПЭМ арқылы бақылау, сондай-ақ үлгілерді (сынамаларды) дайындауда стандартты әдістері қолдану арқылы күшті тректер радиусын бағалау оңай болады. Біз еркін бетінің маңында кристалда ішкі қысымының төмендеуінен сезімталдығын арттыру үшін ынталандырушы факторлардың әсерін ұсынамыз. Төменгі қысым трек ядросында температураның жоғарлауына байланысты фазалық өзгерістерді артыруға ықтимал және көлемінің ұлғаюы кристалл бетінде хиллоктардың пайда болуына әкеледі.

Кілт сөздер: хиллоктар, латентті тректер, жылдам ауыр ион, аморфизация, электронды микроскопия, энергетикалық шығындар, тректер радиусы, иондардың жүрісі.

V.A. Skuratov, M.M. Saifulin, G.M. Aralbayeva, J.H. O'Connell, A.J. van Vuuren

Near-surface titanium dioxide damage after irradiation with swift heavy ions

The material response to SHI irradiation of simple oxides such as TiO₂ is markedly different in the near surface volume than in the bulk. In this subsurface region, several tens of nanometers in thickness, the material exhibits a much higher sensitivity to damage creation. The enhanced sensitivity of the material in this region is related to the proximity of a free surface and not strongly dependent on electronic stopping power. At least for these materials, the assumption of cylindrical latent tracks is dubious and great care should be taken when inferring track radii from indirect techniques. Direct observation by TEM can also easily lead to grossly over estimated track radii when most standard specimen preparation techniques are employed. We suggest reduced internal pressure in the crystal in the vicinity of a free surface as the enabling factor for this enhanced sensitivity. Lower pressure leads to increased probability of a phase change due to elevated temperatures in the track core and volume expansion leads to the formation of hillock on the surface of the crystal.

Keywords: Hillloki, latent tracks, fast heavy ions, amorphization, electron microscopy, ionization energy losses, tracks range, mileage ions.

УДК 536.33

И.П. Курытник¹, Б.Р. Нусупбеков², Д.Ж. Карабекова², А.К. Хасенов²

¹Университет Бельско-Бяла, Польша;

²Казахдинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Казахстан
(E-mail: karabekova71@mail.ru)

Теоретические основы работы измерителей теплового потока для диагностики технологических процессов

Актуальные задачи развития крупных технических систем, каковыми являются тепловые сети современных городов, связаны с необходимостью повышения эффективности их работы путем создания и внедрения новых методов и защиты. Разработка и создание приборов теплового потока позволят увеличить срок службы трубопроводов и снизить потери при доставке тепла потребителю. Разработана математическая модель для определения температуры и энергетических характеристик термоэлектрических преобразователей. В данном случае мы рассматриваем преобразования тепловой энергии в электрическую, так как данные преобразователи имеют большой спрос во многих отраслях науки и техники. Рассмотрение сложной модели многослойного чувствительного элемента прибора можно заменить рассмотрением более простой модели однородного чувствительного элемента соответствующей формы. Данное упрощение позволяет получить рабочие формулы для определения энергетических параметров излучения из рассмотрения температурного поля чувствительного элемента. В статье получены решения уравнения теплопроводности при различных параметрах нагрева и проведен анализ возникающей погрешности измерения энергетических параметров излучения, обусловленной неэквивалентностью тепловых потерь. Полученные данные легли в основу разработанных приборов для измерения энергетических параметров технологического процесса.

Ключевые слова: измеритель теплового потока, термоэлектрический преобразователь, диагностика, температурное поле, тепловые сети.

Тепловые методы неразрушающего контроля получили широкое распространение применительно к различного рода защитным покрытиям, для анализа состояния тепловой изоляции подземных трубопроводов, нефтегазовой промышленности, в строительстве и т.д.

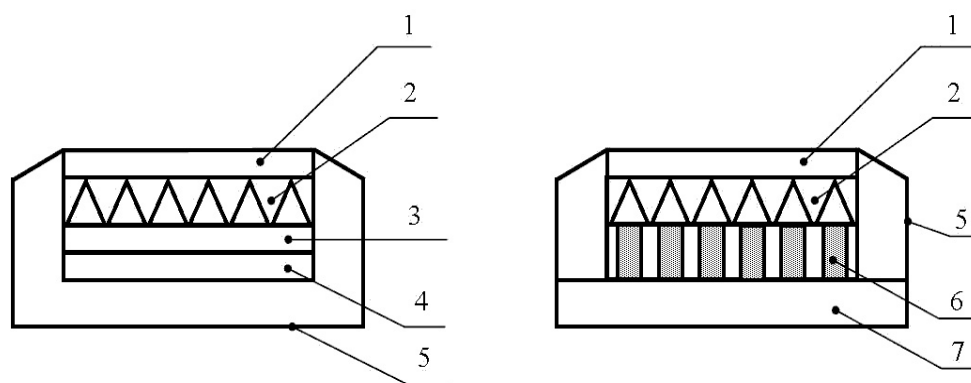
Нарушение тепловой изоляции приводит к изменению температуры на поверхности защитного покрытия. Вывод о состоянии тепловой изоляции можно сделать на основании данных о поверхностной температуре изоляции и температурном поле внутри исследуемого объекта [1].

Среди различных применений датчиков теплового потока особое место занимает контроль состояния тепловой изоляции трубопроводов с теплоносителями. Такой контроль может проводиться с помощью измерителей тепловых потерь, содержащих первичный термоэлектрический преобразователь теплового потока, теплоприемник и электронный блок преобразования измерения сигнала. Основным недостатком этих устройств является зависимость их показаний от случайных изменений параметров окружающей среды.

Для решения рассмотренных задач нами разработаны несколько модификаций датчиков теплового потока, показания которых не зависят от изменения состояния окружающей среды [2, 3]. Общим элементом этих приборов является батарейный термоэлектрический датчик специальной конструкции, выполняющий роль термоэлектрического преобразователя теплового потока. Термоэлектриче-

ский датчик выполнен в форме ограниченного цилиндра, одно основание которого представляет рабочую поверхность, второе основание имеет тепловой контакт с телом, имеющим температуру окружающей среды. Встроенные нагреватели позволяют создавать тепловой поток через термоэлектрический датчик в направлениях, перпендикулярных его основаниям [3].

В измерителе теплового потока «активные» спаи термоэлектрического преобразователя имеют тепловой контакт с приемной пластиной, а «пассивные» спаи — с нагревательным элементом, температура которого контролируется термозависимым элементом (рис.). Такая конструкция позволяет совместить функции двух термометрических блоков в одном. При подготовке прибора приемная пластина приводится в тепловой контакт с исследуемым объектом в области отсутствия дефектов тепловой изоляции. Через нагревательный элемент пропускается электрический ток такой величины, чтобы сигнал на выходе термоэлектрического преобразователя был постоянен. Это означает, что с помощью нагревательного элемента через термоэлектрический преобразователь теплового потока создается реперный тепловой поток, равный по величине и противоположный по направлению тепловому потоку от исследуемого объекта в области дефектов тепловой изоляции. При исследовании с возможными дефектами изоляции ток нагревательного элемента не регулируется. Это приводит к изменению сигнала на выходе термоэлектрического преобразователя теплового потока. По величине изменения этого сигнала можно судить о степени дефекта тепловой изоляции [4–7].



1 — приемная пластина; 2 — элемент; 3 — нагревательный элемент;
4 — термозависимый; 5 — корпус прибора; 6 — термоэлектрический холодильник;
термоэлектрический преобразователь теплового потока; 7 — радиатор

Рисунок. Схематическое изображение измерителя теплового потока

В качестве модели чувствительного элемента рассмотрим однородный ограниченный цилиндр.

Пусть функция $q(t, r)$ описывает зависимость плотности теплового потока, обусловленного поглощенным излучением, падающим на одно из оснований цилиндра:

$$q(r, t) = \eta E(r, t), \quad (1)$$

где $E(r, t)$ — облученность. Функция $q_v(r, z, t)$ описывает зависимость мощности внутренних источников ($Вт/м^3$) от радиуса r , высоты z и времени t . Со всей поверхности цилиндра происходит теплообмен по закону Ньютона со средой переменной температуры $T_c(r, z, t)$.

Уравнение теплопроводности и краевые условия в этом случае для цилиндра радиуса R и высоты ℓ будут иметь вид

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial z^2} + \frac{q_v(r, z, t)}{\lambda} \right]; \quad (2)$$

$$T(r, z, 0) = f(r, z); \quad (3)$$

$$\lambda \frac{\partial T(R, z, t)}{\partial r} = -\alpha_R [T(R, z, t) - T_c(R, z, t)]; \quad (4)$$

$$\lambda \frac{\partial T(r, 0, t)}{\partial z} = \alpha_0 [T(r, 0, t) - T_c(r, 0, t)]; \quad (5)$$

$$\lambda \frac{\partial T(r, \ell, t)}{\partial z} = \alpha_\ell [T(r, \ell, t) - T_c^*(r, \ell, t)], \quad (6)$$

где $T_c^*(r, \ell, t)$ — эквивалентная температура среды, равная

$$T_c^*(r, \ell, t) = T_c(r, \ell, t) + \frac{q(r, t)}{\alpha_\ell}, \quad (7)$$

$\alpha_R, \alpha_0, \alpha_\ell$ — коэффициенты теплообмена со средой для боковой поверхности и оснований цилиндра с $z = 0$ и $z = \ell$ соответственно.

Для решения краевой задачи (2)–(6) воспользуемся методом интегрального преобразования Ханкеля по переменной r :

$$\bar{T}(\mu_n, z, t) = \int_0^R r J\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) T(r, z, t) dr, \quad (8)$$

где $J_0(\mu_n r / R)$ — функция Бесселя первого рода нулевого порядка, μ_n — корни уравнения

$$\frac{J_0(\mu)}{J_1(\mu)} = \frac{\mu}{Bi_R}, \quad (9)$$

в котором $Bi_R = \alpha_R R / \lambda$.

Затем применим конечное интегральное преобразование общего вида по переменной z :

$$U(\mu_n, b_K, t) = \int_0^\ell \bar{T}(\mu_n, z, t) K(b_K, z) dz, \quad (10)$$

где $K(b_K, z)$ — ядро преобразования. Положим

$$K(b_K, z) = \cos \frac{b_K}{\ell} z + \frac{Bi_0}{b_K} \sin \frac{b_K}{\ell} z, \quad (11)$$

где $Bi_0 = \alpha_0 \ell / \lambda$.

Нетрудно показать, что коэффициент b_K должен удовлетворять уравнению

$$ctg b_K = \frac{b_K^2 - Bi_0 Bi_\ell}{b_K (Bi_0 + Bi_\ell)}, \quad (12)$$

в котором $Bi_\ell = \alpha_\ell \ell / \lambda$.

Формулы обращения для конечных интегральных преобразований (8) и (10) имеют соответственно вид

$$\bar{T}(\mu_n, z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{U(\mu_n, b_K, t) K(b_K, z)}{\int_0^\ell K^\alpha(b_K, z) dz}, \quad (13)$$

$$T(r, z, t) = \frac{\lambda}{R^2} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{T}(\mu_n, z, t) \frac{\mu_n J_0(\mu_n r / R)}{(Bi_R^2 + \mu_n^2) J_0^2(\mu_n)}. \quad (14)$$

Совершая переход от изображения к оригиналу по формулам (13) и (14), получим искомое для выражения

$$\begin{aligned}
T(r, z, t) = & \frac{4}{\ell R^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{K=1}^{\infty} C_R \frac{\mu_n J_0(\mu_n r / R) K(b_K, z)}{(Bi^2 + \mu_n^2) J_0^2(\mu_n)} \times \\
& \times \left\{ \exp \left[-a \left(\frac{\mu_n^2}{R^2} + \frac{b_K^2}{\ell^2} \right) t \right] \int_0^{\ell} \int_0^R f(r, z) J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \times \right. \\
& \times K(b_K, z) dr dz + \frac{a}{\lambda_0} \int_0^t \exp \left[-a \left(\frac{\mu_n^2}{R^2} + \frac{b_K^2}{\ell^2} \right) (t - \tau) \right] \times \\
& \times \left[\alpha_{\ell}, K(b_K, \ell) \int_0^R \left(T_c(r, \ell, \tau) + \frac{q(r, \tau)}{\alpha_{\ell}} \right) dr + \right. \\
& + \alpha_0 K(b_K, 0) \int_0^R T_c(r, 0, \tau) r J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) dr + \int_0^{\ell} (\alpha_R R J_0(\mu_n)) \times \\
& \left. \times T_c(R, z, \tau) + \int_0^R r J_1 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) q_v(r, z, \tau) dr \right] K(b_K, z) dz \left. \right\} d\tau,
\end{aligned} \tag{15}$$

где

$$\frac{1}{C_K} = 1 + \left(1 - \frac{Bi_0^2}{b_K^2} \right) \frac{\sin^2 b_K}{2b_K} + (2 \sin^2 b_K + Bi_0) \frac{Bi_0}{b_K^2}. \tag{16}$$

Полученное решение (15) описывает распределение температуры в органическом сплошном цилиндре при крайних условиях (3)–(6).

Таким образом, предлагаемый подход позволил в данной работе рассмотреть температурное поле чувствительного элемента описанного прибора при различных случаях нагрева. Данный прибор может быть использован в блоке датчиков автоматизированной системы экспериментальных исследований конкретного процесса.

Список литературы

- 1 Геращенко О.А., Грищенко Т.Г. Приборы для теплофизических измерений. — Киев: Час, 1991. — 73 с.
- 2 Антипов Ю.Н. Измерение импульсного излучения. — Караганда, 1981. — 94 с.
- 3 А.с. 27617 РК 1999 г. Прибор для измерения теплового потока. Антипов Ю.Н., Карабекова Д.Ж.
- 4 А.с. 37716 РК 2001 г. Прибор для измерения теплового потока. Кусаиынов К., Гладков В.Е., Карабекова Д.Ж.
- 5 Пат. № 1588 РК. Измеритель теплового потока / Нусупбеков Б.Р., Карабекова Д.Ж., Хасенов А.К., Нусупбеков У.Б., Аукеев О.Б.; опубл. 29.07.16, Бюл. № 4. — 4 с.
- 6 Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Khassenov A.K. Thermal Methods and Non-Destructive Testing Instrumentation // Measurement Techniques. — 2016. — Vol. 59. — № 6. — P. 644–648.
- 7 Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Khassenov A.K. Heat flow meter for the diagnostics of pipelines // Proceedings of SPIE Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments. — Wilga, 2016. — P. 348–354.

И.П. Курытник, Б.Р. Нусупбеков, Д.Ж. Карабекова, А.К. Хасенов

Технологиялық процестерді тексеру үшін жылу ағыны өлшегіштері жұмысының теориялық негіздері

Қазіргі кездегі қалалардың жылу желісі болып табылатын үлкен техникалық жүйелердің дамуының өзекті мәселелері жаңа әдістер мен қорғау құру және жүзеге асыру арқылы олардың қызметінің тиімділігін арттыру қажеттілігімен байланысты. Жылу ағыны құрылғыларын жобалау және құру құбырлардың қызмет мерзімін арттыруға және тұтынушыларға жылу жеткізу кезінде шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Термоэлектрлік түрлендіргіштің энергетикалық сипаттамасын және температураны анықтау үшін математикалық үлгі жасалды. Қарастырылып отырған түрлендіргіштер ғылым мен техниканың көптеген салаларында сұранысқа ие болғандықтан, жылу энергиясының электрлікке түрленуі қарастырылды. Аспаптың көпқабатты сезімтал элементінің күрделі моделіне сәйкес формадағы біртекті сезімтал элементтің қарапайым үлгісіне алмастыруға болады. Мұндай алмастыру сезімтал элементтің температуралық өрісінен сәулеленудің энергетикалық параметрлерді анықтау үшін қажетті жұмыстық формуланы алуға мүмкіндік береді. Мақалада қыздырудың әр түрлі жағдайларында сезімтал элементтің температуралық өрісін сипаттайтын жылуөткізгіштік теңдеуінің шешімі алынды. Ол мәліметтер технологиялық процестердің энергетикалық параметрлерін өлшеу үшін жобаланған аспаптарға негізделді.

Кілт сөздер: жылу ағынының өлшеуіші, термоэлектрлік түрлендіргіш, диагностикалау, температуралық өріс, жылу желілері.

I.P. Kurytnik, B.R. Nussupbekov, D.Zh. Karabekova, A.K. Khasenov

Theoretical bases of work of heat flow meters for diagnostics of technological processes

The urgent tasks of developing large-scale technical systems, such as the heat networks of modern cities, are related to the need to improve the efficiency of their work by creating and implementing new methods and protection. The development and creation of heat flow devices will increase the service life of pipelines and reduce losses when delivering heat to the consumer. A mathematical model for determining the temperature and energy characteristics of thermoelectric converters is developed. In this case, we consider the conversion of thermal energy into electrical energy, since these converters are in great demand in many branches of science and technology. Consideration of a complex model of a multilayer instrument sensitive element can be replaced by considering a simpler model of a homogeneous sensitive element of the corresponding shape. This simplification makes it possible to obtain working formulas for determining the energy parameters of radiation from consideration of the temperature field of the sensitive element. In the paper, solutions are obtained for the heat conduction equation for various heating parameters and an analysis is made of the resulting error in measuring the energy parameters of radiation due to the nonequivalence of thermal losses. The obtained data formed the basis for the developed instruments for measuring the energy parameters of the technological process.

Keywords: heat flow meter, thermoelectric transducer, diagnostics, temperature field, heat networks.

References

- 1 Gerashchenko O.A., Gryshchenko T.G. *Devices for thermal measurements*, Kiev: Chas, 1991, 73 p.
- 2 Antipov Yu.N. *Pulsed radiation measurement*, Karaganda, 1981, 94 p.
- 3 AS 27617 RK 1999. *A device for measuring heat flow*. Antipov Y.N., Karabekova D.Zh.
- 4 AS 37716 RK 2001. *A device for measuring heat flow*. Kusainov K. Gladkov V.E. Karabekova D.Zh.
- 5 Pat. Number 1588 RK. *Heat flow meter* / Nusupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Hasenov A.K., Nusupbekov U.B., Auke O.B.; publ. 07.29.16, Bull., 4, 4 p.
- 6 Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Khasenov A.K. *Measurement Techniques*, 2016, 59, 6, p. 644–648.
- 7 Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Khasenov A.K. *Proceedings of SPIE Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, Wilga, 2016, p. 348–354.

Б.Р. Нүсіпбеков¹, А.К. Хасенов¹, М. Стоев², Д.Ж. Карабекова¹, А.Ж. Бейсенбек¹

¹Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қазақстан;

²«Неофит Рильский» Оңтүстік-Батыс университеті, Благоевград, Болгария
(E-mail: anuar.beysenbek@gmail.com)

Биоэтанолды алу үдерісін қарқындатуға арналған технология

Мақалада биоэтанолды алу үдерісін қарқындатуға арналған жаңа технология ұсынылды. Электроимпульсті технология арқылы агродақылдар мен оның қалдықтарын ашыту кезінде максималды мөлшерде қажетті өнім алынатыны дәлелденді. Биоэтанол өндіруде құны жағынан төмен, қалдықсыз өндірістің әр түрлі технологиялық схемалары жасалып, өндіріске енгізілуде. Сұйық ортадағы электрлік соққы салдарынан пайда болатын физикалық үдерістердің жан-жақтылығы мен күрделілігіне байланысты нақты эксперименттік нәтижелер болмаса, үлгілеу қиынға соғады. Зерттеу жұмыстары және теория жүзінде көпфазалы ортада соққы толқындары әсерінен пайда болатын физикалық құбылыстар толық зерттелмеген. Зерттеу жұмыстары түрлі сынақ орталарында жүргізілді. Жұмыстар электроимпульсті технологияның разряд энергиясының (W) әр түрлі мәндерінде, конденсатор батареясының (C) 0,25÷0,1 мкФ аралығында, жұмыстық разрядаралық қашықтық (l) 5 мм және разряд импульстар саны 100÷250 кезінде орындалды. Зерттеу жұмыстары кезінде қондырғының негізгі тиімді параметрлері анықталды. Аталмыш технологияның дәстүрлі әдістерге қарағанда, уақыт жағынан тиімділігі көрсетілді.

Кілт сөздер: биоэтанол, электроимпульсті технология, импульсты разрядтар саны, жұмыстық кернеу, разрядаралық қашықтық.

Бүгінгі таңда мұнай бағасының өсуі, оның қорларының азаюы, экологиялық жағдайдың нашарлауына байланысты экологиялық таза, әрі тиімді қайта қалпына келетін баламалы қуат көзін жасау мәселесін алға тартады. Соның бірі мұнай қорының орнын толықтыратын биоотындар өндірісін дамытуға аса көп көңіл бөлінуде.

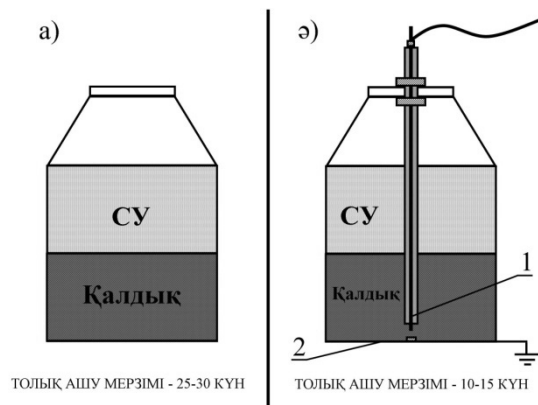
Биологиялық массадан алынатын жанармайдың бірнеше түрі бар – биогаз (метан), биодизель және биоэтанол (жасыл жанармай), пештік қатты биоотын. Аталғандардың ішінде биоэтанол өзінің өндірілетін шикізат көзінің көптігін есепке алғанда ең жоғарғы көрсеткішке ие болады [1, 2].

Биоэтанол – толығымен ылғалсыздандырылған таза этил спирті. Ол бензин құрамындағы октан санын көтереді, өз ретінде мұндай қоспасы бар отын қоршаған ортаға лас қалдықтарды 40–80 пайыз аз шығарады. Бензинді үнемді пайдалануға мүмкіндік беретін қоспа мұнай химия өндірісінде де кеңінен қолданылуы мүмкін [3]. Оның этанолдан айырмашылығы кез келген ауылшаруашылық дақылдарының қалдықтарынан өңдеп алуында. Елімізде агродақылдар өнімі көптігіне байланысты игерілмей жатқан қалдықтардың саны аз емес. Сондықтан егіс қалдықтарын қайта өңдеу арқылы биоэтанолды алу маңызы өте зор, әрі тиімді. Атап айтатын болсақ, биоэтанолды бидай, арпа, жүгері, қант қызылшасы, қант қамысы, картоп, күріш және басқа да ауылшаруашылық дақылдарынан және қолданысқа жарамсыз қалдықтардан, атап айтқанда, күріш алқабынан қалған сабаннан, ағаш өндірісінің қалдығы ағаш жанқаларынан және тұрмыстық қалдықтардан өңдеп алуға болады. Осы агродақылдар мен оның қалдықтарынан өңделіп алынған биоэтанолды қайта өңдеп биоотын алады. Биоэтанолды өңдеу арқылы алынған биоотын, мұнай өнімі арқылы өңделіп алынған жанар-жағар майға (бензин, дизель) қарағанда, салыстырмалы түрде бағасы мен құрамына байланысты экономикалық жағынан да, экологиялық жағдайда да өте тиімді болып келеді.

Биоэтанолды алуда көптеген жобалар әр түрлі себептерге байланысты индустриалды түрде өндірісте қолданысқа ие болмай жатыр, ал біздің мақсатымыз — осы алынған өнімді мұнай синтезінен алынған өнімді алмастырып, өндіріске жанар-жағар май, сұйық отын қоры ретінде ұсыну.

Жоғарыда айтылған мәселелерге байланысты академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті физика-техникалық факультетінің «Электроимпульстік технологиялар зерттеу» зертханасында зерттеулер жүргізілді. Жемістің қалдықтарынан қажетті таза өнімді алу үшін ұсынылып отырған технологияның нәтижелері дәстүрлі технологиялармен салыстырылды. Өндіріс орындарында ашыту процесін қарқындету үшін әр түрлі қоспалар (ашытқыш, қант т.б.) қолдану себебінен алынатын өнімнің ашу мерзімі аз болғанымен, оның құрамы едәуір өзгеріске ұшырайды. Сол себепті қоспасыз таза өнім алу мақсатында екі түрлі әдіс қарастырылды (1-сур.): а) дәстүрлі ашыту әдісі; ә) электроимпульсті технология көмегімен ашыту әдісі.

Біздің жағдайда биоэтанолды алу үшін 5 кг жеміс қалдықтары алынды. Дәстүрлі ашыту әдісін қарастыратын болсақ, ең алдымен, жеміс қалдықтарын сұйық массаға айналдыру үшін ол механикалық жолмен ұсақталды. Алынған сұйық массаны ашыту үшін үлкен көлемді темір ыдысқа құйып, тең көлемде 5 л сумен толтырылды (ыдыстың ауызы ашық қалдырылды). Ашытылу процесі күнде қадағаланып отырылды. Дәстүрлі әдісте толық ашу мерзімі — шамамен 26–28 күн. Одан кейінгі ашыту процесі бәсеңдей бастағаны байқалды. Осы 26–28 күндер аралығында толық ашу мерзімі деп пайымдалды.



а) дәстүрлі ашыту әдісі; ә) электроимпульсті технология көмегімен ашыту әдісі
1 — оң электрод; 2 — теріс электрод

1-сурет. Биоэтанолды алуға арналған ашыту әдістері

Келесі ашыту процесі электроимпульсті технологияның көмегімен жүзеге асты. Электроимпульсті технология келесідей негізгі бөліктерден құралды: басқару пульті, генератор мен разрядаралық қашықтықтан және конденсатор мен қорғаныс жүйесі.

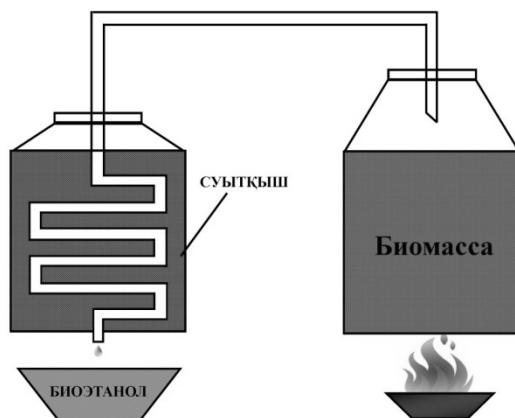
Электроимпульстік қондырғының негізгі мақсаты электр энергиясын механикалық энергияға айналдыру болып табылады. Қондырғының жұмыс істеу принципі сұйықта жоғары вольтты разряд кезінде пайда болатын соққы толқынын қолдануға негізделген. Разрядтаушы мен генератор қондырғының негізгі түйіндерінің бірі болып саналады. Оның жұмысы кірістегі айнаымалы кернеуді шығыстағы тұрақты кернеуге түрлендіруге негізделген [4–7].

Қондырғының тиімді параметрлерін анықтау үшін импульсті разрядтар санына және разряд энергиясына тәуелді зерттеулер жүргізілді. Импульсты разрядтар санына тәуелді зерттеулер кезінде конденсатор сыйымдылығы тұрақты мәнінде ($C = 0,25 \text{ мкФ}$), разрядаралық қашықтықтың мәні тұрақты $l = 5 \text{ мм}$, жұмыстық кернеу $U = 16 \text{ кВт}$ болды. Ал разряд импульстарының саны $n = 100 \div 250$ аралығында өзгертіліп отырылды.

Бұл жағдайда да әрқайсысы 5 кг механикалық жолмен ұсақтатыған жеміс қалдықтарынан тұратын 4 үлкен көлемді тағамдық темір ыдыстарға құйылып, тең көлемде 5 л сумен толтырылды. Темір көлемді ыдыстарға оң электрод орнатылды. Бұл жағдайда теріс электродтың қызметін темір ыдыстардың қабырғалары атқарды. Сәйкесінше әр ыдысқа тиісті импульстік разряд сандары (100, 150, 200, 250) күніне 3 мезгілде беріліп отырылды.

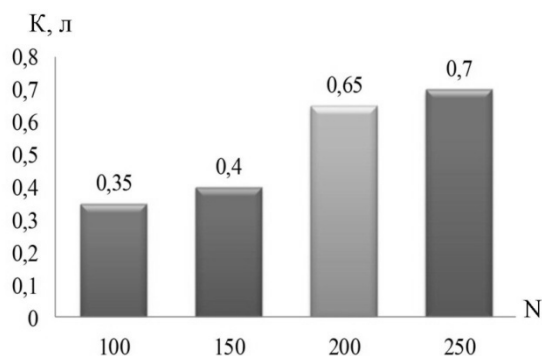
Соққы берілген жағдайда жылу бөлініп, импульстар әсерінен механикалық жолмен ұсақталмай қалған қалдықтарды одан әрі ұсақтап, сонымен қатар сұйық массаны максималды түрде бөлінуіне әсерін тигізеді. Себебі электроимпульсті соққылар кезінде биомассаның бірқалыпты араласуына ықпалын тигізеді. Зерттеу жүргізу нәтижесінде толық ашу мерзімі 14–16 күнде байқалды. Одан әрі ашу процесі бәсеңдегені байқалып, көпіршіктенуі тоқталды. Аталмыш технологияда қолданылған электродтар тағамдық дат баспайтын болаттан жасалғандықтан, биомассаны ластамайды. Қорытындылай келе, екі әдісті салыстыра отырып, ашыту мерзімі ешқандай қоспасыз құрамын өзгертпей электроимпульсті әдісті қолдану арқылы ашыту процесінің қарқынды жүруін кемінде 2 есеге арттыру тәсілін ұсынып отырмыз.

Екі әдіс арқылы алынған биомассалардың құрамын тексеру үшін алынған биомассаларды 2-суретте келтірілген әдіс арқылы өңдеп, таза биоэтанол бөліп алынды.



2-сурет. Биоэтанолды бөліп алу қондырғысы

Дәстүрлі әдіс арқылы алынған биомассадан 0,5 л көлемде таза биоэтанол бөлініп алынды. Әр түрлі разрядты импульс соққылары беру арқылы ашытылған биомассалардан алынған биоэтанол мөлшері өлшеніп, 3-суретте келтірілді.



3-сурет. Өнім мөлшерінің импульстік разрядтар санына тәуелділігі

Жоғарыда келтірілген нәтижелерді салыстыра келе, тиімді параметр ретінде импульстік разряд санын 200 деп алдық. Себебі импульстік разрядтар саны 100 және 150 кезіндегі алынған биоэтанол көлемі, разрядтар саны, 200-ге қарағанда, айтарлықтай төмен көрсеткіштерге ие болды. Егер разряд санын 200 және 250 деп алатын болсақ, нәтижелері жуық шамамен бірдей. Одан әрі импульстік разряд санын көбейту қажеті жоқ деп шешілді.

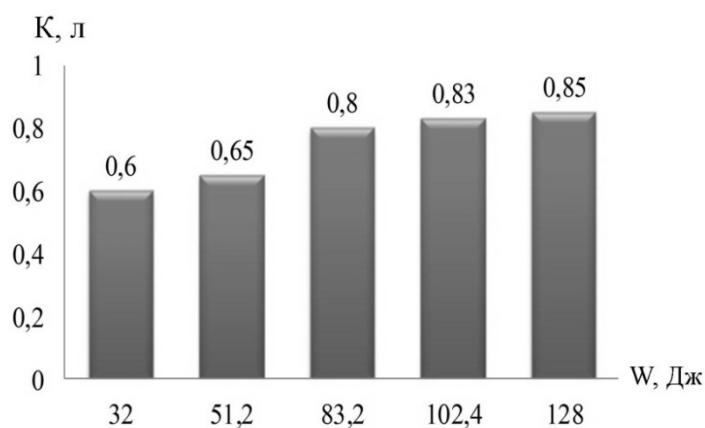
5 кг жеміс қалдықтарынан дәстүрлі әдіспен ашыту арқылы 27 күнде көлемі 0,5 л биоэтанол алынса, разряд импульстар саны 200 болған кездегі биомассадан 15 күн ішінде 0,65 л тең болды.

Әрі қарай зерттеу жұмыстары разряд энергиясының тиімді параметрлерін анықтауға арналды. Конденсатор батареясының сыйымдылығы $C = 0,25 \div 1$ мкФ аралығында болды. Бұл жағдайда разрядаралық қашықтықтың мәні тұрақты $l = 5$ мм, жұмыстық кернеу $U = 16$ кВт болды. Ал разряд импульстарының саны $n = 200$ құрады. Конденсатор сыйымдылығын өзгерту арқылы энергияны түрлендірдік. Мәліметтер 1-кестеде көрсетілген.

Конденсатор сыйымдылығына тәуелді разряд энергиясының ауқымы

Конденсатор сыйымдылығы, мкФ	Энергия, Дж
0,25	32
0,4	51,2
0,65	83,2
0,8	102,4
1	128

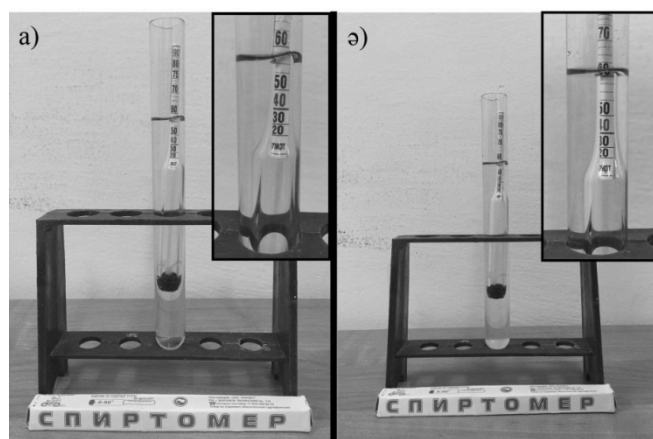
Бұл жағдайда да әрқайсысы 5 кг механикалық жолмен ұсақталған жеміс қалдықтарынан тұратын 5 үлкен көлемді тағамдық темір ыдысқа құйылып, тең көлемде 5 л сумен толтырылды. Темір көлемді ыдыста оң электрод орнатылды. Бұл жағдайда теріс электродтың қызметін темір ыдыстардың қабырғалары атқарды. Сәйкесінше әр ыдысқа анықталған тиімді импульстік разряд саны 200-ден күніне 3 мезгілде беріліп отырылды. Бірақ әр ыдыстағы биомассаны ашытуға әр түрлі сыйымдылықтағы конденсатор батареялары қолданылды. Зерттеу нәтижелері 4-суретте келтірілген.



4-сурет. Өнім мөлшерінің энергияға тәуелділігі

Келтірілген нәтижелерді салыстыру разряд энергиясының тиімді мәні ретінде 83,2 Дж (конденсатор сыйымдылығы 0,65 мкФ болған жағдайда) алынды. Себебі одан әрі энергияны көбейткен сайын өнім мөлшері шамамен бірдей мәнге ие болды. Энергияны одан әрі арттыру тиімсіз болып табылады.

Нәтижесінде дәстүрлі әдіс арқылы алынған таза биоэтанол көлемі 0,5 л, спирттің үлесі 58 %-ды құрады. Келесі реттегі алынған биоэтанолдың құрамындағы спирттік көрсеткіші төмендей берді. Қалдықтардың көлемі шамамен 1 л мөлшерінде болды. Ал электроимпульсті технология арқылы ашытылған биомассадан алынған таза биоэтанол көлемі 0,8 л құраса, спирттік үлесі жуық шамамен бірдей болды (5-сур.). Қалдықтардың көлемі шамамен 1,3 л құрады.



- а) дәстүрлі әдіспен ашыту арқылы алынған биоэтанол;
 ә) электроимпульсті технология көмегімен ашытылып алынған биоэтанол

5-сурет. Биоэтанолдардың спирттік көрсеткіштері

Екі ашыту әдістері арқылы алынған биоэтанолдарды академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университетінің химия факультетінің зертханасында «Agilent 7890 А» газды хроматографы арқылы құрамдарына зерттеу жұмыстары жүргізілді.

Зерттеу жұмыстарының нәтижелері техникалық тұрғыда талданып, өнімнің құрамында келесідей қосылыстардың бар екені анықталды (2-кесте).

2 - кесте

Биоэтанол құрамына кіретін қоспалар мөлшерін салыстыру

Құрамы	Дәстүрлі әдіс, %	ЭИТ, %
Этил эфирі, бензой қышқылы	2,56	2,59
n-Декан қышқылы	12,42	12,23
Этил эфирі, октан қышқылы	7,55	7,8
Этил эфир, декан қышқылы	24,99	23,78
Додекаметил, циклопентасилоксан	1,78	1,86
Этил эфирі, нонано қышқылының -5-метилі	15,66	15,78

Екі нәтижені салыстыра келе, биоэтанолды алу процесін электроимпульстік технология көмегімен қарқындатқанда оның құрамы жуық шамамен бірдей көрсеткіштер көрсетті.

Алғаш рет биоэтанолды алуда ашыту процесіне электроимпульсті технология қолданылып, оның тиімділігі анықталды. Соққы берілген жағдайда жылу бөлініп, импульстар әсерінен механикалық жолмен ұсақталмай қалған қалдықтарды одан әрі ұсақтап, сонымен қатар сұйық массаны максималды түрде бөлінуіне әсерін тигізгенін байқадық. Аталмыш технологияда қолданылған электродтар тағамдық дәт баспайтын болаттан жасалғандықтан, биомассаны ластамайды. Ашыту мерзімін ешқандай қоспасыз құрамын өзгертпей электроимпульсті әдісті қолдана отырып, ашыту процесінің қарқынды жүруін кемінде 2 есеге арттырады. Болашақта электроимпульсті технология биотанол өндірісінде кеңінен қолданыс табуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Лачуга Ю.Ф. Нетрадиционная энергетика в сельском хозяйстве. Перспективы, опыт производства и использования альтернативных видов топлива в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. — Зеленоград: ВНИИПТИМЭСХ, 2007. — С. 8–14.
- 2 Дорожиев С.С., Патеева И.Б. Энергоресурсосберегающая технология получения биоэтанола из зеленой массы растений рода *Heracleum* // Ползуновский вестн. — 2011. — № 2/2. — С. 45–52.
- 3 [ЭР]. Режим доступа: www.kk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D1%8D%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BB
- 4 Caravaca A., De Lucas-Consuegra A., Calcerrada A.B., Lobato J.L., Dorado F. From biomass to pure hydrogen: electrochemical reforming of bio-ethanol in a PEM electro laser // *Applied Catalysis B: Environmental*. — 2013. — Vol. 134, 135. — P. 302–309.
- 5 Топчиева А.В., Третьяков В.Т. Биоэтанол: состояние и будущее в нефтехимии. Альтернативные источники сырья: сб. науч. тр. — Минск: Беларуская навука, 2014. — С. 14–17.
- 6 Горпиниченко С.И., Ковтунов В.В. Перспективы производства биоэтанола из сорго // *Зерновое хозяйство России*. — 2009. — № 4. — С. 26–34.
- 7 Nusupbekov B.R., Kussaiynov K., Sakipova S.E., Beisenbek A.Zh. On improvement of technology of complex extraction of rare and trace metals by electropulse method // *Metal physics and the latest technologies*. — 2014. — Vol. 36. — No. 2. — P. 275–286.

Б.Р. Нусупбеков, А.К. Хасенов, М. Стоев, Д.Ж. Карабекова, А.Ж. Бейсенбек

Технология для интенсификации процесса получения биоэтанола

В статье представлены новые технологии для интенсификации процесса биоэтанола. С помощью электроимпульсной технологии можно получать максимальное количество целевого продукта из агропродуктов их отходов, при этом усиливая процесс брожения. В целях снижения себестоимости производства биоэтанола разрабатываются и внедряются различные технологические схемы безотходного производства. Многообразие и очень сложный характер физических процессов, протекающих при электрическом взрыве в жидкости, трудно поддаются моделированию в отсутствие достоверных экспериментальных результатов. Как экспериментально, так и теоретически мало изучены физические явления, занимающие весомое место в процессах взаимодействия ударных волн, образующиеся в многофазных средах. Проведены опыты с различной исследуемой средой. Опыты на электроимпульсной установке проводились при разных значениях энергии разряда (W) емкости конденсаторной батареи (C), равной $0,25 \pm 0,1$ мкФ, межэлектродного промежутка на коммутационном устройстве (l), составляющем 5 мм, и частоты следования импульсов, варьированных в диапазоне $100 \div 250$ электрических импульсов. В ходе исследования определены оптимальные параметры устройства. Эффективность этой технологии с точки зрения традиционных методов оптимальна по времени.

Ключевые слова: биоэтанол, электроимпульсная технология, количество импульсных разрядов, рабочее напряжение, межэлектродный промежуток.

B.R. Nussupbekov, A.K. Khassenov, M. Stoev, D.Zh. Karabekova, A.Zh. Beysenbek

The technology for the intensification of the process of bioethanol production

This article presents new technologies for intensifying the bioethanol process. With the help of electropulse technology, it is possible to obtain the maximum amount of a target product from agroproducts and its waste, thereby enhancing the fermentation process. In order to reduce the cost of production of bioethanol, various technological schemes of non-waste production are developed and implemented. The variety and very complex nature of the physical processes taking place during an electric explosion in a liquid are difficult to model in the absence of reliable experimental results. Both physically and theoretically little studied physical phenomena that occupy a significant place in the processes of interaction of shock waves produced in multiphase media. Experiments were carried out with different media. Experiments on the electric pulse system were carried out for different values of the discharge energy (W) of the capacitor bank (C) capacitance equal to 0.25 ± 0.1 μ F, the interelectrode gap on the switching device (l) is 5 mm and the pulse repetition rates varied in the range $100 \div 250$ Electrical impulses. During the study, the optimal parameters of the device were determined. The effectiveness of this technology in terms of traditional methods is optimal in time.

Keywords: bioethanol, electropulse technology, number of pulsed discharges, working voltage, interelectrode gap.

References

- 1 Lachuga Yu.F. *Alternative energy in agriculture. Outlook experience, production and use of alternative fuels in agriculture*, coll. scientific. tr., Zernograd: VNIPTIMESKh, 2007, p. 81–14.
- 2 Dorozhiyev S.S., Pateeva I.B. *Polzunovsky Gazette*, 2011, 2 / 2, p. 45–52.
- 3 www.kk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D1%8D%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BB
- 4 Caravaca A., De Lucas-Consuegra A., Calcerrada A.B., Lobato J.L., Dorado F. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2013, 134, 135, p. 302–309.
- 5 Topchieva A.V., Tretyakov V.T. *Bioethanol-state and the future of petrochemicals. Alternativnye sources: coll. of scientific papers*, Minsk: Belaruskaya navuka, 2014, p. 14–17.
- 6 Gorpinichenko S.I., Kovtunov V.V. *Theoretical scientific journal Grain economy of Russia*, 2009, 4, p. 26–34.
- 7 Nusupbekov B.R., Kussaiynov K., Sakipova S.E., Beisenbek A.Zh. *Metal physics and the latest technologies*, 2014, 36, 2, p. 275–286.

Б.Р. Нүсіпбеков¹, А.К. Хасенов¹, Д.Ж. Карабекова¹,
М. Стоев², А.Ж. Бейсенбек¹, Б.И. Қазанқап¹

¹Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қазақстан;
²«Неофит Рильский» Оңтүстік-Батыс университеті, Благоевград, Болгария
(E-mail: ayanbergen@mail.ru)

Жылуалмастырғыштарды қалпына келтірудің жаңа технологиясы

Мақала жылуалмастырғыштарды қақтардан тазалаудың жаңа әдісіне арналды. Электргидравликалық технология — жылуалмастырғыш құбырлардың беттерінде пайда болған қақтарды жоюдың тиімді әдістерінің бірі. Қондырғының жұмыс істеу принципі сұйықтағы жоғары вольтті разряд кезінде қалыптасатын электргидравликалық эффект деп аталатын соққы толқыны эффектісін пайдалануға негізделген. Жұмыста ұсынылып отырған әдіспен жылуалмастырғышты өндеудің параметрлері келтірілді. Күрделі пішінді құбырды тазалаудың әдістемесі баяндалды. Алынған нәтижелер ғылыми қолданылады және практикалық тұрғыдан қызығушылық тудырады. Электргидравликалық қондырғы металл құбыр өткізгіштердің ішкі беттерін (жылуалмастырғыш құбырлары, қазандықтар, бойлерлер, конденсаторлар, магистралдық құбыр өткізгіштердің жекелеген бөліктері және т.б.) қатты технологиялық қалдықтардан тазалауға қолданылады. Қондырғыны арнайы модификациялай отырып, металды құрылымдарды қатты металл емес қатпарлардан тазарту мақсатында (құймалық қоспалардың қалдықтарының бөлшектерінен), кәріз құбырларын тазалауда пайдалануға болады. Сонымен қатар қондырғы энергетикалық, тағамдық, металлургиялық, химиялық және өндірістің басқа да салаларында қолданыс табуы мүмкін. Электргидроимпульсты технологияның технологиялық үдерісі автоматтандыруға оңай бейімделеді және оған қызмет көрсету үшін арнайы мамандар қажет емес.

Кілт сөздер: электргидравликалық технология, жылуалмастырғыштарды тазалау, электродаралық қашықтық, импульстар кернеуі, қатты жою әдісі.

Өндірістің әр түрлі саласында энергияны тұтынудың өсуіне байланысты қолданылатын жылуалмасу аппараттарының энергия сыйымдылығы артуда. Осы себепті қазіргі ғылым мен техниканың өзекті мәселесі энергетика, яғни, отын қорын үнемді пайдалануды қамтамасыз ететін жылуалмасу қондырғылары мен жаңа әдістерін табу және жасап шығару болып табылады.

Химия, мұнай және газ өнеркәсіптерінің технологиялық қондырғыларында сапалы жылуалмасу қондырғы ретінде техникалық су қолданылады. Көп жағдайда жылумен қамтамасыздандыратын жүйелерде негізінен өзен және жер астындағы сулар қолданылады. Табиғи суларда дисперстік қоспалар, оңай еритін тұздар: NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 , темір тотығының бикарбонаты $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, сонымен бірге көмір қышқылы H_2CO_3 кездеседі [1].

Судың құрамындағы ұсақ түйіршікті бөлшектер, әр түрлі тұздар қоспаларының болу салдарынан, жылуалмастырғыштарда қақтар пайда болады. Қақтар әр түрлі химиялық элементтердің қоспасы түрінде температураға байланысты түзіледі [2, 3]. Қақтарды жоюдың қатарына химиялық және механикалық әдістерді жатқызуға болады. Осы әдістердің ішінде соңғы кезде кең қолданылатыны электргидравликалық эффект әсеріне негізделген қондырғымен тазалау әдісі болып отыр.

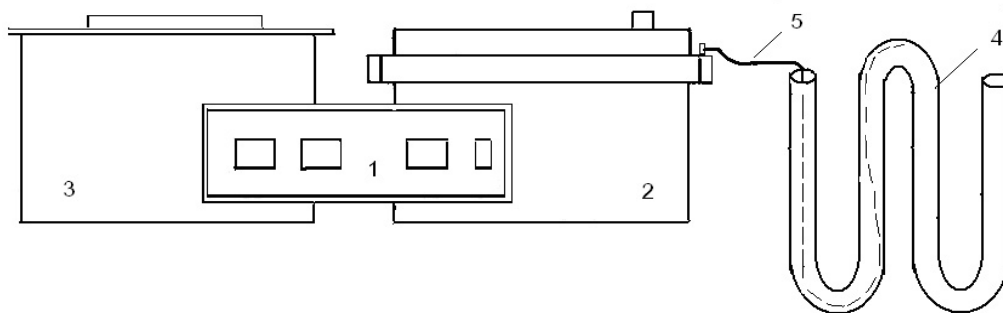
Электргидравликалық әдіс тағамдық өндірісте дәнді дақылдар мен сұйық өнімдерді өндеуде, металлургия саласында кендерді ұнтақтауда және жылуалмасу беттерін қақтардан тазарту және олардың жылу бергіштігін қарқындету үшін кең көлемде қолданылып келеді [4–8]. Сұйықтағы электр разряды кезінде түзілетін құбылыстың күрделі кешендерінен технологияда электр энергиясының соққылы толқын энергиясына ауысуы байқалады. Үрдістің ерекшелігі — ол электр энергиясының механикалық энергиясына ауысуында. Тәсілдің мәні ашық немесе жабық ыдыстағы сұйықтың ішкі көлеміне арнайы ұйымдасқан импульсті электрлік разряд бергеннен осы аймақта әр түрлі физикалық және химиялық құбылыс тудыратын пайдалы механикалық жұмыс пайда болады [9–11].

Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университетінің профессор Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасының гидродинамика және жылуалмасу зертханасында жылуалмастырғыштарды тазалау және жылу беру қасиеттерін қалпына келтіру үшін электргидравликалық қондырғыда тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Бұл тәжірибеге дейінгі жұмыстарда осы қондырғы арқылы тек қана жазық жылуалмастырғыш құбырларының ішкі беттерінде пайда болған қақтар тазаланған болатын. Ғылыми жұмыста күрделі пішінді құбырларды

тазалау технологиясы құрастырылып жасалды. Электрогидравликалық технологияның жұмыс істеу принципі сұйық ортаға жоғары вольтты разряд берілген кезде пайда болатын соққы толқынын қолдануға негізделген.

Жылуалмастырғыштарды қақтардан өңдеуге арналған құрылымдық зертханалық қондырғы келесі негізгі элементтерден дайындалған: басқару пультінен, қорғаныс жүйелі конденсаторынан, коммутаторлы импульсті тоқ генераторынан тұратын функционалды блок түрінде жасалған (1-сур.).

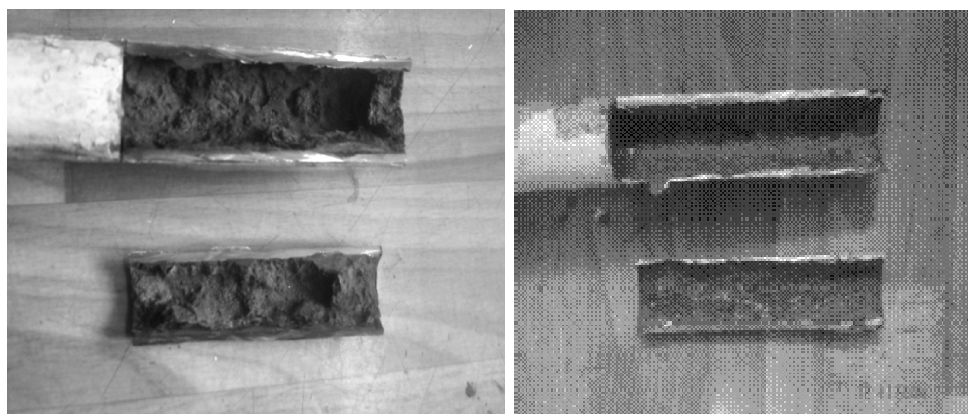
Төменде 1-суреттегі үзік сызықтар — құбыр ішіндегі орналасқан қақтарды тазалау кезіндегі электродтың ең максимал жеткен бөлігі. Күрделі пішінді жылуалмастырғыш құбырдың екінші бөлігін тазалау үшін электродты құбырдың шығысынан енгізе отырып, құбырдың кірісінен тазаланған бөлігіне дейінгі аралықта тазалау жұмыстары жүргізілді.



1 — басқару пульті; 2 — қорғаныс жүйесі мен энергия жинағыш; 3 — разрядтаушы және импульсті ток генераторы; 4 — күрделі пішінді жылуалмастырғыш; 5 — жұмыс электроды

1-сурет. Күрделі пішінді жылуалмастырғыштарды тазалау кезіндегі сұлбасы

Ғылыми жұмыс күрделі пішінді жылуалмастырғыштың ішіне су толтырып, разрядаралық қашықтығын 10 мм-ге қойып, жұмыс кернеуі 20–25 кВ кезінде орындалды. Электрогидравликалық технологияның көмегімен тазаланған жылуалмастырғыштар 2-суретте берілген.



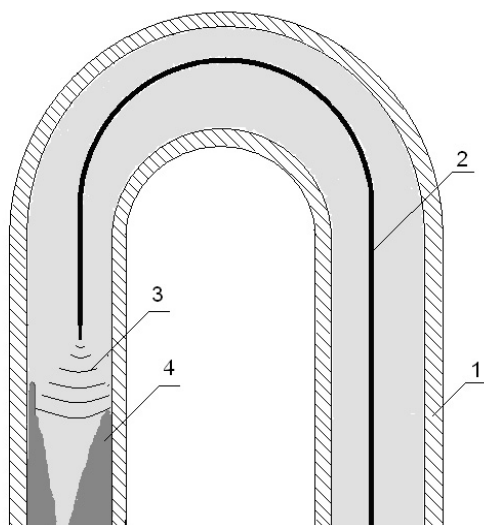
а)

б)

а — тәжірибелік зерттеулерге дейінгі жылуалмастырғыш құбыр; б — тазаланған күрделі пішінді жылуалмастырғыш құбырдың бастапқы бөлігі

2-сурет. Тәжірибеден кейінгі тазаланған күрделі пішінді жылуалмастырғыш құбыр

Күрделі формалы құбырдың ішкі бетінде (2 сур. а) қақтар қалыңдығы әр түрлі орналасқанын байқаймыз. Мақалада құбыр формасы күрделі болғандықтан, қақтарды тазалау үшін құбыр ішінен өткізілетін электродты әр түрлі бағытта қозғалта отырып, тазалау жұмыстарын жүргізу қажет болды. Төменде 3-суретте тәжірибе кезінде күрделі формалы жылуалмастырғыштың ішіне электродты орналастыру сұлбасы келтірілді.



3-сурет. Тәжірибе кезінде күрделі формалы жылуалмастырғыштың ішінде электродтың орналасу сұлбасы

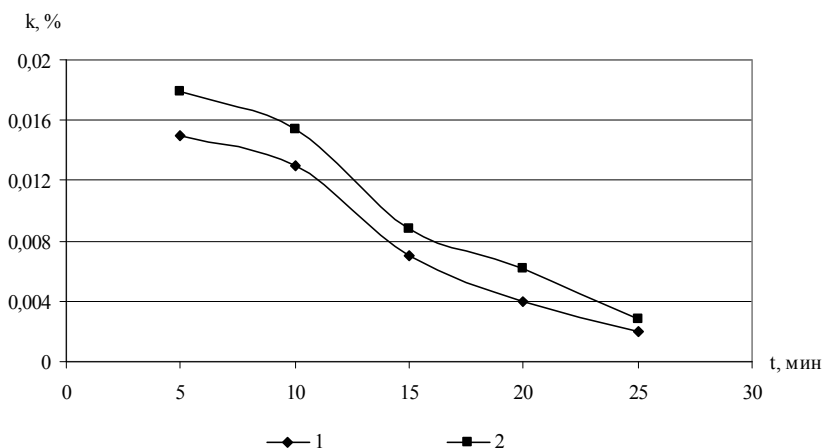
Жоғарыдағы 3-суретте сумен толтырылған күрделі формалы құбыр (1), электрод (2), соққы толқындарының суда таралуы (3), құбыр (4) бетінде орналасқан қақтар. Осындай күрделі формалы құбырлардағы қақтарды тазалау үшін құбырдың қиын бұрылысты бөліктеріне арнайы электродты бағыттай отырып тазалау жұмыстары жасалды. Электрод арақашықтығын және энергия жинағыштағы кернеу шамасын разрядтың энергиясына тәуелді басқару арқылы құбырдың сыртқы беттерін қақтардан тазалау дәрежесінің әр түрлі мәндеріне қолжеткізілді.

Жылуалмастырғыштарды өңдеу жұмыстары кезінде құбыр бойындағы орналасқан қақтардың құрамында әр түрлі тұздар болғандықтан, осы құбырдың ішкі қабырғасының кейбір бөліктерінің тез тазаланатындығы байқалды (4-сур.). Уақыт өтуіне және пайдалану мерзіміне байланысты құбырдың ішінде әр түрлі ойықтар көптеп пайда болғаны байқалды.

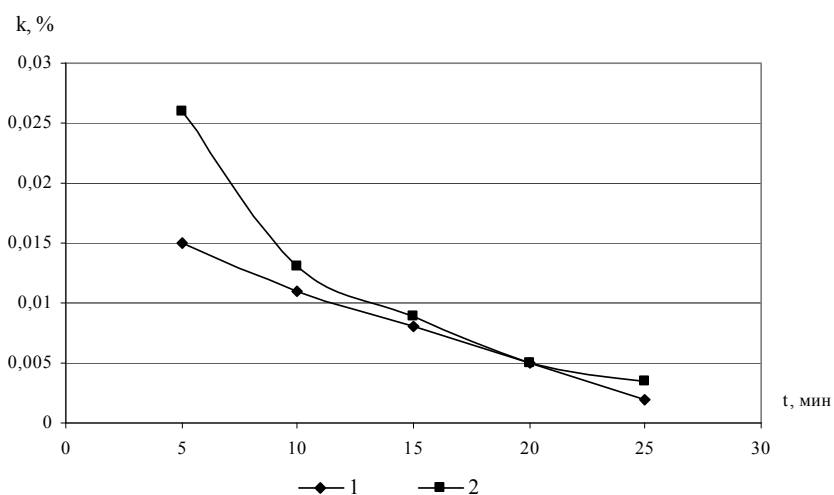


4-сурет. Құбыр бойында көпжылдық қақтар салдарынан пайда болған ойықтар

Тәжірибелік зерттеулер барысында жылуалмастырғыштарды қалпына келтіру кезіндегі қақтың жойылуының өңделу уақытына тәуелділігі анықталды (5-сур.). Өңдеу жұмыстары кезінде әрбір 5 мин уақыт аралығынан кейін құбырдың ішкі бетінен бөлінген қақтың массасы электрондық таразының көмегімен өлшенді.



а) d = 25 мм құбыр



б) d = 32 мм құбыр

5-сурет. Электрогидравликалық кондырғының көмегімен тазаланған күрделі пішінді құбырдағы қақтардың уақытқа тәуелді жойылуы

Күрделі пішінді жылуалмастырғыш кірісінен (1) электродты жібере отырып тазалаған кездегі және күрделі пішінді жылуалмастырғыш шығысынан (2) электродты жібере отырып, тазалаған кездегі алынған нәтижелер 5-суретте келтірілген. Тәуелділіктен уақытты неғұрлым көбірек арттыратын болсақ, соғұрлым қақтың жойылуы тезны байқалды.

Күрделі пішінді жылуалмастырғыштарды тазалау әдісі зерттеліп, тазалау кезінде қолданылатын электрод жүйесі және разрядаралық қашықтықтағы энергияның мәні анықталды. Тәжірибе кезінде алынған нәтижелер келешекте жылуалмастырғыш құбырларды тазалау кезінде қосымша зерттеулерді талап етпей, бірден құбырларды өңдеу жұмыстарын жүргізуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Богорощ А.Т. Вопросы накипеобразования. — Киев: Вышш. шк., 1990. — 179 с.
- 2 Деев И.Т., Рассонская И.С., Хлапова А.Н. Исследование фазового состава котельных накипей и шламов // Внутрикотловые физико-химические процессы, водоподготовка и водный режим котлов. — М., 1957. — С. 102–110.
- 3 Сагань И.И., Разадин Ю.С. Борьба с накипеобразованием в теплообменниках. — Киев: Техн. шк., 1986. — 134 с.
- 4 Гульий Г.А. Оборудование и технические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. — Киев, 1977. — 324 с.

- 5 Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 289 с.
- 6 Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. — Апатиты: Изд-во Кольского науч. центра РАН, 2002. — 324 с.
- 7 Юткин А.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. — Л., 1986. — 253 с.
- 8 Нусупбеков Б.Р. Электрические характеристики электрогидроимпульсной установки для дробления руды // Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана: материалы междунар. науч.-практ. конф. — Караганда: Изд. КарГТУ, 2007. — С. 182–185.
- 9 Вазов В.Ф., Кузнецов Ю.И., Куртенов Г.Е., Лавринович В.А., Лопатин В.В., Мытников А.В. Техника высоких напряжений: учеб. пособие. — Томск: ТПУ, 2010. — 232 с.
- 10 Кусаиынов К., Кутнякова Н.Н., Сейсенбек Г.Е., Хасенов А.К. Высокоэнергетическое импульсное воздействие и исследование структуры накипных отложений теплообменных поверхностей // Физика и химия наноматериалов: материалы междунар. шк.-конф. молодых ученых. — Томск, 2005. — С. 647–651.
- 11 Nussupbekov B.R., Stoev M., Khasenov A.K., Beisenbek A.Zh. Electric pulse method of rock crushing: mathematics and natural science: Proceedings of the Fifth Intern. Sc. Conf., FMNS – 2013. — Blagoevgrad, 2013. — No. 3. — P. 45–50.

Б.Р.Нусупбеков, А.К. Хасенов, Д.Ж. Карабекова,
М. Стоев, А.Ж. Бейсенбек, Б.И. Қазанқап

Новая технология для восстановления теплообменников

Статья посвящена новому методу очистки теплообменников. Электрогидравлическая технология является одним из наиболее эффективных методов очистки отложений на поверхности теплообменных труб. Принцип работы установки основан на использовании эффекта ударной волны, возникающей при высоковольтном разряде в жидкости, получившего название электрогидравлического эффекта. В работе предложены параметры метода очистки теплообменников. Рассмотрены способы очистки труб сложной формы. Полученные результаты представляют интерес как с научной, так и с практической точки зрения. Электрогидравлическая установка предназначена для очистки внутренних полостей металлических трубопроводов (пучков труб теплообменников, котлов, бойлеров, конденсаторов, отдельных участков магистральных трубопроводов и т.д.) от твердых технологических отложений. При соответствующей модификации установка может использоваться для очистки металлических конструкций от твердых неметаллических отложений (литых деталей от остатков формовочной смеси), очистки труб канализации, фильтров на водозаборах.

Ключевые слова: электрогидравлическая технология, очистка теплообменников, межэлектродный промежуток, напряжение импульсов, метод очистки накипи.

B.R. Nussupbekov, A.K. Khasenov, D.Zh. Karabekova,
M. Stoev, A.Zh. Beysenbek, B.I. Kazankap

New technology for the recovery of heat exchangers

The article is devoted to a new method for cleaning heat exchangers. Electrohydraulic technology, is one of the most effective methods of cleaning deposits on the surface of heat-exchange pipes. The principle of the installation is based on the use of the shock wave effect, which occurs when a high-voltage discharge in a liquid is called electro-hydraulic effect. The parameters of the method for cleaning heat exchangers are proposed. Methods for cleaning pipes of complex shape are considered. The results obtained are of interest, both from a scientific and a practical point of view. The electrohydraulic unit is designed for cleaning internal cavities of metal pipelines (bundles of heat exchanger tubes, boilers, boilers, condensers, separate sections of main pipelines, etc.) from solid process deposits. With the appropriate modification of the plant can be used for cleaning metal structures from solid non-metallic deposits (cast parts from the residual molding mixture), cleaning sewage pipes, filters at water intakes.

Keywords: electrohydraulic technology, cleaning of heat exchangers, interelectrode gap, pulse voltage, descaling method.

References

- 1 Bogorosh A.T. *Questions of scale formation*, Kiev: Vysshaya shkola, 1990, 179 p.
- 2 Deev I.T., Rassonskaya I.S., Chlapova A.N. *Vnutrikotlovye physico-chemical processes, water treatment and water boiler mode*, Moscow, 1957, p. 102–110.
- 3 Sagan I.I., Razladin Yu.S. *Fighting scale formation in heat exchangers*, Kiev: Tehnicheskaya shkola, 1986, 134 p.
- 4 Gulyi G.A. *Equipment and technical processes using electrohydraulic effect*, Kyiv, 1977, 324 p.
- 5 Burtsev V.A., Kalinin N.V., Luchinskiy A.V. *Electric explosion of conductors and its application in the electrical installations*, Moscow: Energoatomisdat, 1990, 289 p.
- 6 Kurets V.I., Usov A.F., Zuckerman V.A. *Electropulse disintegration of materials*, Apatity: Publ. house of the Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, 2002, 324 p.
- 7 Yutkin A.A. *The electrohydraulic effect and its application in industry*, Leningrad, 1986, 253 p.
- 8 Nussupbekov B.R. *Proceedings of the international scientific-practical conference «Actual problems of mining and metallurgical complex of Kazakhstan»*, Karaganda: KarSTU publ., 2007, p. 182–185.
- 9 Vazhov V.F., Kuznetsov Yu.I., Kurtenkov G.E., Lavrynovych V.A., Lopatin V.V., Mytnikov A.V. *Technique of high voltage: tutorial*, Tomsk: TPU, 2010, 232 p.
- 10 Kusajynov K., Kutnyakova N.N., Seisenbek G.E., Khasenov A.K. *Proceedings of the International School-Conference for Young Scientists «Physics and chemistry of nanomaterials»*, Tomsk, 2005, p. 647–651.
- 11 Nussupbekov B.R., Stoev M., Khasenov A.K., Beisenbek A.Zh. *FMNS – 2013*, Blagoevgrad, 2013, 3, p. 45–50.

УДК 53.089.4:004.383.3

Н.А. Испулов¹, А.Ж. Жумабеков¹, А.Б. Абдрахманов², М. Нургожина¹

¹Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, Казахстан;
²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
(E-mail: nurlybek_79@mail.ru)

Об измерении температуры термистором с помощью микроконтроллеров Arduino

Статья посвящена использованию микроконтроллеров Arduino в среде LabVIEW. Описаны: технология подготовки и отладки среды ArduinoIDE и метод подключения Arduino к LabVIEW; ошибки и их исправление при подключении. Показана программа работы с описанием лицевой панели и принципиальной схемы устройства. Написана программа нахождения коэффициентов для термисторов. Реализовать эту широтно-импульсную модуляцию можно как программным, так и аппаратным способом. Первый из них нам не подходит, так как он захватывает все ресурсы микроконтроллера, а нам еще нужно организовать опрос датчика. Поэтому мы выбрали аппаратный способ, использующий внутренние ресурсы компьютера. Для его реализации используется оператор WriteAnalog(), который может выполняться в фоновом режиме. В современном мире все более широкое применение приобретает внедрение новой техники, как в промышленном хозяйстве, так и в бытовых нуждах. Для улучшения какой-либо техники разрабатываются методы эффективного использования энергии.

Ключевые слова: микроконтроллеры, среда Arduino, термисторы, программа LabVIEW, Atmega 328, ШИМ, блок-схема Arduino и LabVIEW.

Введение

В связи с бурным развитием микроэлектроники вычислительная мощность современных микроконтроллеров значительно увеличивается, что приводит к удешевлению самих микроконтроллеров и, соответственно, позволяет использовать предоставляемые ими возможности в таких схемах, где ранее их использование было экономически нецелесообразным. На рынке имеется огромный выбор программируемых логических контроллеров (ПЛК), как от известных производителей (Siemens, Advantech и др.), так и от бурно развивающихся «новых» производителей, у которых, как правило, — «азиатские» корни. Последние, как правило, в своих самых доступных ПЛК используют чипы от фирм Atmel и Texas Instruments, с архитектурой AVR и PIC соответственно. Несмотря на известные достоинства (надежность, удобное программное обеспечение (ПО) для работы с ПЛК и обучения персонала, техническая поддержка пользователей в режиме онлайн и т.д.), ПЛК от производителей первого эшелона имеют один существенный недостаток — высокую цену, что особенно актуально для небольших предприятий и большинства вузов. Поэтому главной является задача выбора альтернативы дорогим ПЛК достаточно простых управляемых контроллеров. В качестве такой альтернативы предлагаются относительно недорогие микроконтроллеры Atmel/AVR, и в частности вычислительная платформа Arduino [1].

Микроконтроллер — это специальная микросхема, предназначенная для управления различными электронными устройствами, сочетающая в себе процессор, встроенную память и периферию. Следует различать микроконтроллер и микропроцессор. Последний не имеет встроенной памяти и требует для запуска дополнительные микросхемы. Микроконтроллер представляет собой закончен-

Arduino UNO может получать питание через подключение USB или от внешнего источника. Источник питания выбирается автоматически. Внешнее питание (не USB) может подаваться через преобразователь напряжения AC/DC (блок питания) или аккумуляторной батареей. Преобразователь напряжения подключается посредством разъема 2.1 мм с центральным положительным полюсом. Провода от батареи подключаются к выводам Gnd и Vin разъема питания.

Платформа может работать при внешнем питании от 6 В до 20 В. При напряжении питания ниже 7 В вывод 5V может выдавать менее 5 В, при этом платформа может работать нестабильно. При использовании напряжения выше 12 В регулятор напряжения может перегреться и повредить плату. Рекомендуемый диапазон — от 7 В до 12 В.

Среда разработки Arduino состоит из встроенного текстового редактора программного кода, области сообщений, окна вывода текста (консоли), панели инструментов с кнопками часто используемых команд и нескольких меню. Для загрузки программ и связи среда разработки подключается к аппаратной части Arduino. Программа, написанная в среде Arduino, называется скетч. Скетч пишется в текстовом редакторе, имеющем инструменты вырезки/вставки, поиска/замены текста. Во время сохранения и экспорта проекта в области сообщений появляются пояснения, также могут отображаться возникшие ошибки. Окно вывода текста (консоль) показывает сообщения Arduino, включающие полные отчеты об ошибках и другую информацию. Кнопки панели инструментов позволяют проверить и записать программу, создать, открыть и сохранить скетч, открыть мониторинг последовательной шины.

Меню содержит список последовательных устройств передачи данных (реальных и виртуальных) на компьютере. Список обновляется автоматически каждый раз при открытии меню Tools.

Загрузчик позволяет записать в микроконтроллер на платформе Arduino. Данное действие не требуется в текущей работе с Arduino, но пригодится, если имеется новый ATmega (без загрузчика). Перед записью рекомендуется проверить правильность выбора платформы из меню. При использовании AVRISP необходимо выбрать соответствующий программатору порт из меню SerialPort.

Средой Arduino используется принцип блокнота: стандартное место для хранения программ (скетчей). Скетчи из блокнота открываются через меню File>Sketchbook или кнопкой Open на панели инструментов. При первом запуске программы Arduino автоматически создается директория для блокнота. Расположение блокнота меняется через диалоговое окно Preferences.

Закладки, файлы и компиляция позволяют работать с несколькими файлами скетчей (каждый открывается в отдельной закладке). Файлы кода могут быть стандартными Arduino (без расширения), файлами C (расширение *.c), файлами C++ (*.cpp) или головными файлами (.h) [4].

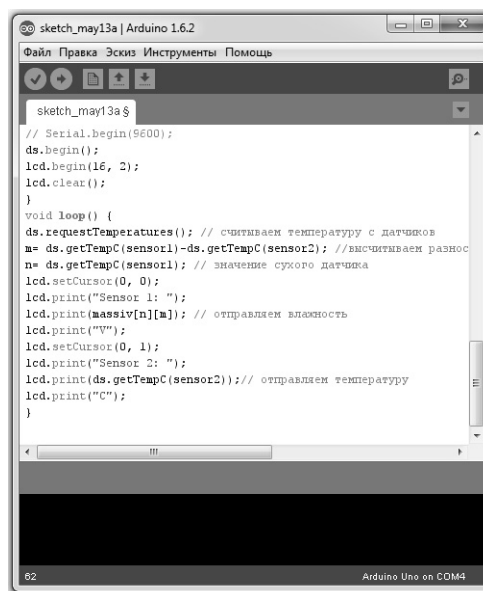
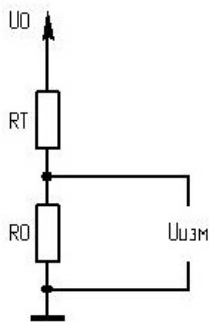


Рисунок 2. Среда разработки Arduino

На плате ArduinoUNO имеется шесть аналоговых входов, которые, по сути, являются каналами АЦП. В один из таких каналов подключается термистор. Используется схема простого делителя напряжения для нахождения сопротивления:



U_0 — известное напряжение, R_0 — известное сопротивление, R_T — сопротивление, зависящее от температуры, $U_{изм}$ — измеряемое напряжение

Рисунок 3. Схема измерения температуры термистором

Из рисунка 3, очевидно, что для измеряемого напряжения справедливо соотношение

$$U_{изм} = \frac{U_0 R_0}{R_0 + R_T},$$

откуда сопротивление термистора выражается так:

$$R_T = \frac{U_0 R_0}{U_{изм}} - R_0.$$

Уравнение Стейнхарта–Харта, связывающее сопротивление и температуру полупроводниковых термисторов, имеет вид [5]:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C (\ln(R))^3. \quad (1)$$

Здесь A , B и C — калибровочные константы, так называемые коэффициенты Стейнхарта-Харта, T — температура в кельвинах. Это уравнение аппроксимирует кривую с хорошей точностью при подобранных коэффициентах для конкретного термистора. Коэффициенты Стейнхарта-Харта могут указываться в документации производителем термистора, а могут вместо них указываться табличные значения температур и сопротивлений для конкретного устройства. Коэффициенты будут находиться опытным путем.

Необходимо провести три измерения и получить, таким образом, три уравнения, записать сопротивление термистора и измеренную температуру при которой производилось измерение.

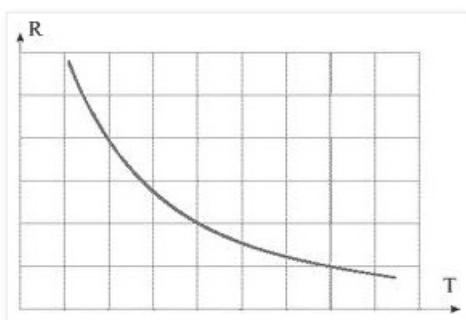


Рисунок 4. Типовая зависимость сопротивления термистора от температуры

На рисунке 4 представлена программа, с помощью которой можно посчитать коэффициенты и проверить их. Программа была написана по формуле Стейнхарта-Харта для нахождения калибровочных коэффициентов:

$$L_1 = \ln(R_1) \quad L_2 = \ln(R_2) \quad L_3 = \ln(R_3). \quad (2)$$

Вводятся величины, обратные температуре:

$$Y_1 = \frac{1}{T_1} \quad Y_2 = \frac{1}{T_2} \quad Y_3 = \frac{1}{T_3}. \quad (3)$$

Вводятся соотношения

$$\gamma_2 = \frac{Y_2 - Y_1}{L_2 - L_1} \quad \gamma_3 = \frac{Y_3 - Y_1}{L_3 - L_1}. \quad (4)$$

Далее мы находим искомые коэффициенты:

$$C = \left(\frac{\gamma_3 - \gamma_2}{L_3 - L_2} \right) \times (L_1 + L_2 + L_3)^{-1}, \quad B = \gamma_2 - C \times (L_1^2 + L_1 L_2 + L_2^2), \quad A = Y_1 - (B + L_1^2 C) L_1,$$

где R_1 — сопротивление термистора при температуре T_1 ; R_2 — сопротивление термистора при температуре T_2 ; R_3 — сопротивление термистора при температуре T_3 .

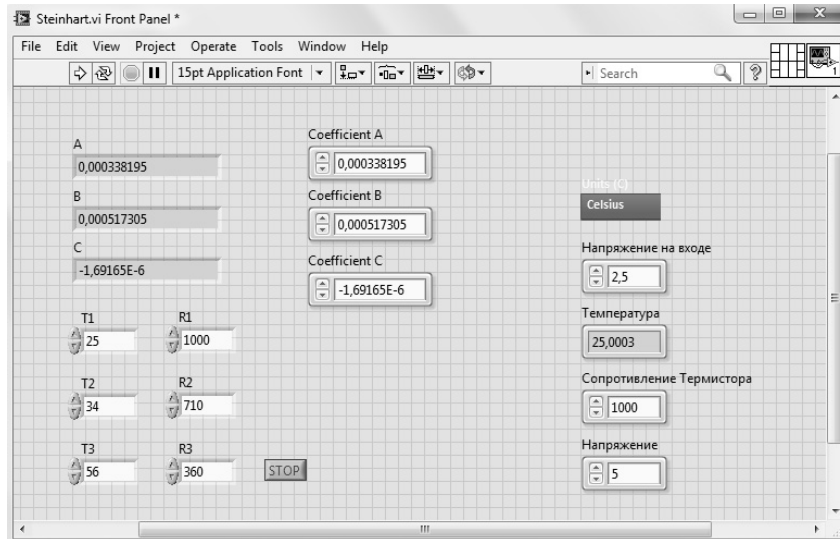


Рисунок 5. Лицевая панель программы нахождения коэффициентов

В ячейку T_1 вносятся значения низкой температуры и в R_1 — соответствующее этой температуре сопротивление термистора. В ячейку T_2 — значения средней температуры и, соответственно, в T_3 — высокой температуры. После чего нужно нажать на запуск программы. Слева на лицевой панели выйдут коэффициенты (рис. 5). Для проверки коэффициентов достаточно ввести значения, которые вводятся на рисунке 6.

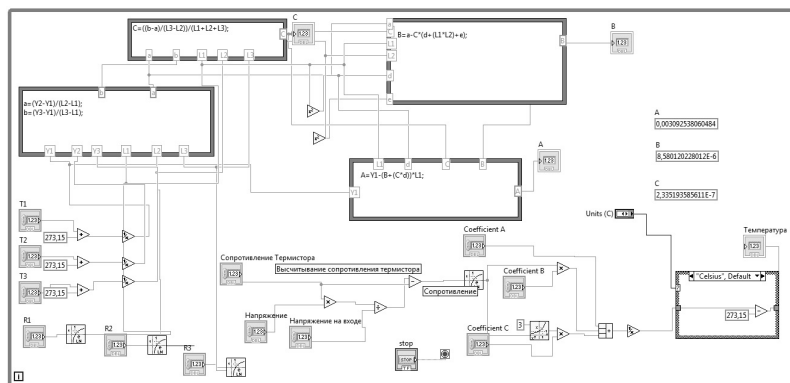


Рисунок 6. Блок-схема высчитывания и проверки коэффициентов Стейнхарта-Харта

Схема подключения для работы программы Arduino&LabVIEW в макетной плате представлена на рисунке 7.

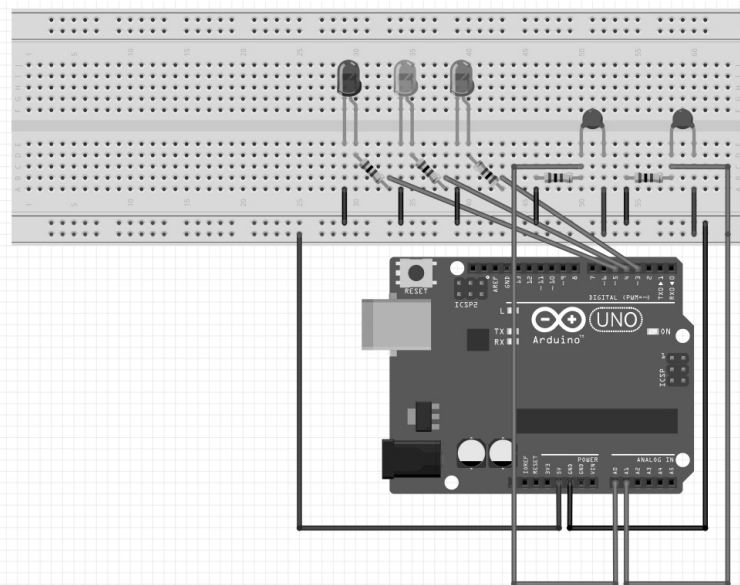


Рисунок 7. Схема подключения для работы программы Arduino&LabVIEW в макетной плате

Лицевая панель программы показана на рисунке 8. На этой панели размещен график температуры, на котором отображается температура с 2-х термисторов в реальном времени, на графике они выделены различными цветами. Справа и слева отображаются температуры конкретных пинов микроконтроллера, их можно выбирать в процессе работы самой программы. В шкале (C) и шкале (C)2 производится выбор единицы измерения температуры. В все мы указываем напряжение, которое подаем на датчики.

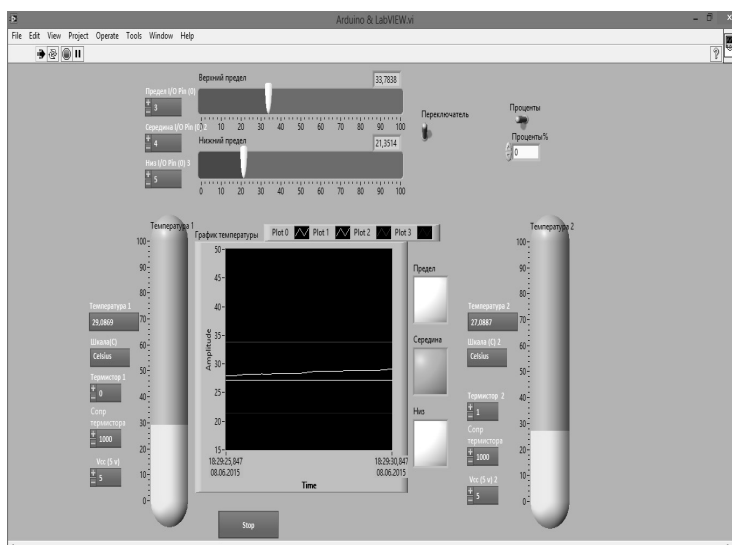


Рисунок 8. Лицевая панель программы термостата

Рядом с графиком температуры располагаются индикаторы, отображающие пределы температуры, которые задаются пределами, расположенными сверху от графика температуры. Для того чтобы индикаторы работали, требуется включить переключатель в режим работы. Перед его включением нужно задать пины микроконтроллера. Они будут включаться при превышении вводимых значений. При включении переключателя на графике температуры отобразятся значения пределов соответствующими цветами для пределов.

Для начала работы с данной программой в блок-схеме нужно выбрать COM-порт, который был создан во время первого подключения Arduino (здесь COM4). Необходимо выбрать скорость, которая должна соответствовать той скорости, что указана в прошивке (115200 по умолчанию), сделать выбор порта Arduino (по умолчанию USB). Последние два параметра — линия инициализации, которая будет использоваться всеми устройствами Arduino, и линия ошибки — следует оставить как есть [6]. При использовании цифрового I/O применяется SetModeDigitalPin. Затем необходимо указать соответствующий порт микроконтроллера. Блок-схема программы, принципиальная схема, рассчитывающая температуру по формуле Стейнхарта-Харта (1) с выбором единицы измерения, принципиальная схема работы термостата с изменяющимися пределами представлены на Рисунках 9,10,11 соответственно.

Бесконечный цикл представлен в виде петли. Для остановки цикла есть специальный индикатор. DigitalPin используется для вывода светодиодов. Выбор выводов для светодиодов производится в панели программы.

Close используется в качестве закрытия соединения с платой Arduino.

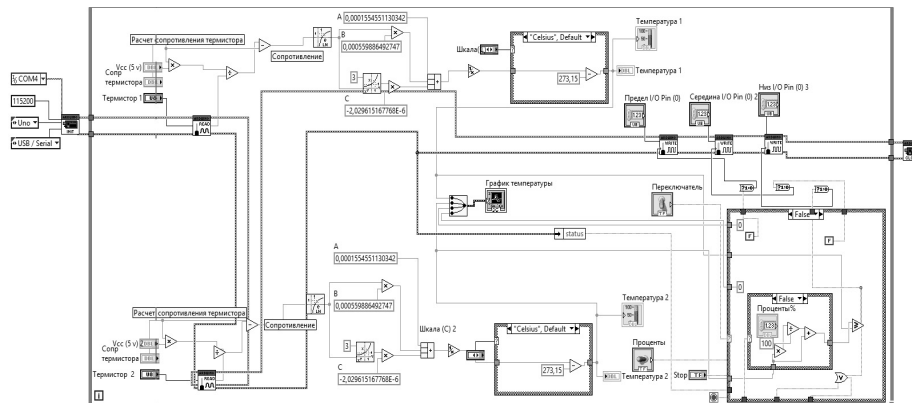


Рисунок 9. Блок-схема программы

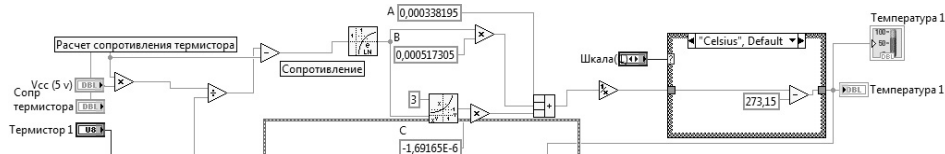


Рисунок 10. Принципиальная схема, рассчитывающая температуру по формуле Стейнхарта-Харта (1) с выбором единицы измерения

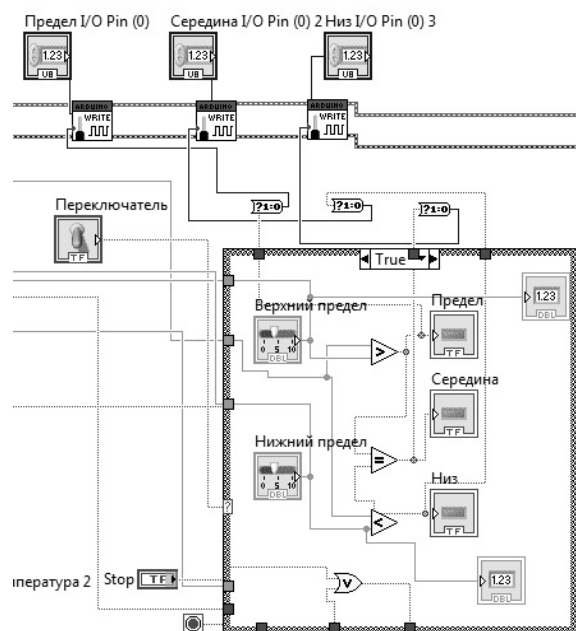


Рисунок 11. Принципиальная схема работы термостата с изменяющимися пределами

Заклучение

В данной работе описаны технология подготовки и отладки среды ArduinoIDE и метод подключения Arduino к LabVIEW. Показаны и исправлены ошибки, возникающие во время сохранения и экспорта проекта в области сообщений; программа работы с описанием лицевой панели и принципиальной схемы устройства. Написана программа нахождения коэффициентов для термисторов.

Список литературы

- 1 Абдрахманов А.Б. Моделирование работы микроконтроллера. — Павлодар: Кереку, 2014. — 40 с.
- 2 Алексенко А.Г., Шагури И.И. Микросхемотехника. — М.: Радио и связь, 1990. — 496 с.
- 3 Белов А.Б. Конструирование устройств на микроконтроллерах. — СПб.: Наука и техника. — Вып. 9 — 2005. — 255 с.
- 4 Бродин Б.В., Шагури И.И. Микроконтроллеры: справочник. — М.: ЭКОМ, 1999. — 395 с.
- 5 Вуд А. Микропроцессоры в вопросах и ответах: пер. с англ., под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 184 с.
- 6 Голубцов М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. — М.: Солон-Пресс, 2003. — 459 с.
- 7 Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel. — М.: ИП Радиософт, 2002. — 176 с.
- 8 Документация на датчик температуры ds18b20. — [ЭР]. Режим доступа: <http://masterkit.ru/zip/ds18b20-rus.pdf> (дата обращения 06.06.2015)
- 9 Документация на дисплей lm016l. — [ЭР]. Режим доступа: http://ru.datasheet4u.com/ru/share_search.php?sWord=LM016L (дата обращения 06.06.2015)
- 10 Документация на микроконтроллер Atmega 8. — [ЭР]. Режим доступа: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf (дата обращения 06.06.2015)

Н.А. Испулов, А.Ж. Жумабеков, А.Б. Абрахманов, М. Нұрғожина

Arduino микробақылауыштары көмегімен термистор арқылы температураны өлшеу туралы

Мақала Arduino микробақылауыштарын LabVIEW ортасында қолдануға арналған. ArduinoIDE ортасын бағдарламалауға дайындау және лайықтау технологиясы мен Arduinoны LabVIEW-ге қосу әдістері және қосылу кезінде туындайтын қателіктер мен оларды түзету әдістері қарастырылды. Құрылғының маңызды сұлбасы және беттік панель сипаттамасының жұмыс бағдарламасы көрсетілген. Термистор үшін коэффициенттерді іздеу бағдарламасы жазылған. Бұл кең импульсты модуляцияны бағдарламалық және аппараттық әдіс арқылы жүзеге асыруға болады. Біріншісі біздің жұмысқа қажет емес, себебі ол микробақылаушының барлық ресурстарын алады. Сонымен қатар біз датчиктен сұраныс алуымыз қажет. Авторлар аппараттық әдісті таңдап, яғни компьютердің ішкі ресурстарын, пайдаланды. Бұны жүзеге асыру үшін WriteAnalog() операторы қолданылды, ол фондық тәртіпте жұмыс істейді. Заманауи жаңа техника мен технологияларды қолдану үрдісі кеңінен таралып жатыр, тек өндірісте ғана емес, сонымен бірге тұрмыста да орын алуда. Қандайда бір техниканы жақсарту үшін энергияны тиімді жүзеге асыру әдістері ізделініп жатыр.

Кілт сөздер: микробақылауыштар, Arduino ортасы, термистор, LabVIEW бағдарламасы, Atmega 328, КИМ, Arduino және LabVIEW блок-сұлбасы.

N.A. Ispulov, A.Zh. Zhumabekov, A.B. Abdrakhmanov, M.M. Nurgozhina

About temperature measurement with a thermistor using Arduino microcontrollers

The article is devoted to use of Arduino microcontrollers in the environment of LabVIEW. Are described: technology of preparation and debugging of the environment ArduinoIDE and method of connection of Arduino to LabVIEW; errors and their correction in case of connection. The program of work with the description of a front panel and the schematic diagram of the device is shown. The program of finding of coefficients for thermistors is written. It is possible to realize it pulse width modulation both a program, and hardware method. The first of them to us doesn't resemble as it captures all resources of the microcontroller, and we still need to organize inquiry of the sensor. Therefore we selected the hardware method using internal resources of the computer. For its implementation the operator WriteAnalog() which can be executed in the background is used. In the modern world broad application more and more acquires implementation of new technique, both in industrial economy, and in domestic needs. Methods of effective use of energy are developed for improving of any technique.

Keywords: microcontroller, Arduino, thermistors, LabVIEW program, Atmega 328, pulse width modulation, Arduino and LabVIEW program's flowchart.

References

- 1 Abdrakhmanov A.B. *Modeling the operation of the microcontroller*, Pavlodar: Kereku, 2014, 40 p.
- 2 Aleksenko A.G., Shagurin I.I. *Microcircuitry*, Moscow: Radio i svyaz, 1990, 496 p.
- 3 Belov A.B. *Designing devices on microcontrollers*, Saint Petersburg: nauka I tehnika, 9, 2005, 255 p.
- 4 Brodin B.V., Shagurin I.I. *Microcontroller: directory*, Moscow: EKOM, 1999, 395 p.
- 5 Vud A. *Microprocessors in questions and answers / translation from English*, ed. D.A. Pospelov, Moscow: Energoatomizdat, 1985, 184 p.
- 6 Golubtsov M.S. *Microcontrollers AVR: from simple to complex*, Moscow: Solon-Press, 2003, 459 p.
- 7 Grebnev V.V. *Microcontrollers of AVR firms Atmel*, Moscow: IP Radiosoft, 2002, 176 p.
- 8 Documentation for the temperature sensor ds18b20, <http://masterkit.ru/zip/ds18b20-rus.pdf> (data obrasheniya 06.06.2015)
- 9 Documentation on display lm016l, http://ru.datasheet4u.com/ru/share_search.php?sWord=LM016L (data obrasheniya 06.06.2015)
- 10 Documentation on microcontroller Atmega 8, http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf (data obrasheniya 06.06.2015)

А.А. Айкеева¹, К.С.Роговая¹, А.Р. Танскожанова¹,
А.Е. Аюбекова¹, П.А. Мухтарова¹, А.Е. Оспанов²

¹Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қазақстан;

²Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қазақстан
(E-mail: aikееva@mail.ru)

ANSYS Maxwell бағдарламалық ортада скип қозғалысының имитациялық моделін жасау

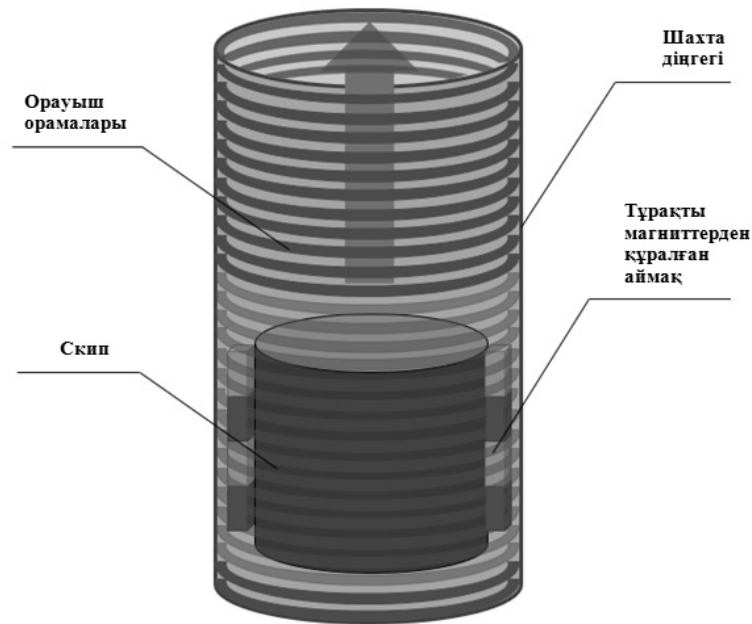
Мақала электрмагнитті көтергіш қондырғы элементтерінің имитациялық үлгісін жасауға бағытталған. «Скип–тұрақты магнит–орауыш» электрмагнитті көтергіш қондырғы элементтерінің жұмыс істеу принципі ұсынылған. Модельдеу ANSYS Maxwell бағдарламасы арқылы жүргізілді. Модельдеудің мақсаты қондырғы элементтерінің негізгі магниттік параметрлерін анықтау болды: Лоренц күшін, магнит өрісінің кернеулігін және магнит индукциясын. Есептелген параметрлер бойынша графиктік диаграммалар және бірнеше айнымалылары бар тендеулер түрінде инженерлік функциялар тұрғызылды.

Кілт сөздер: электрмагнитті көтергіш қондырғы, магниттік левитация, ANSYS Maxwell бағдарламасы, Лоренц, магнит өрісінің кернеулігі, магнитті индукция.

Электромагнит көтергіш қондырғысының негізгі элементтерінің өзара әсерлесудің динамикалық процестерін имитациялық модельдеудің мақсаты көп қаражатты талап ететін эксперименттерді жүргізбей-ақ жүйенің оңтайлы және тиімді параметрлерін есептік жолмен анықтау болып табылады. Қазіргі заманғы компьютерлер мен қолданбалы бағдарламалардың мүмкіндіктері «скип–тұрақты магнит–орауыш» біртұтас динамикалық жүйенің органикалық өзара байланысқан көп факторлы динамикалық күйлерін сипаттау үшін жүйелік түрде қарастыруын толықтай жүзеге асыруға мүмкіндік береді [1, 2].

Зерттеулер барысында скиптің шахта оқпанында қозғалысының үлгісі жасалды. Берілген модель магниттік левитация эффектісіне негізделді. Бұл әдістің мағынасы — скиптің жоғары немесе төменгі жағында тұрақты магниттер орналастырылып, шахта оқпанының бойымен орауыш орамдарын орналастыруды ұсыну. Бұл жағдайда, 1-суретте көрсетілгендей, тұрақты магниттері бар скип шахта оқпанында орауыштан өтіп қозғалады. Тұрақты магниттер катушқадан өткен кезде скип жылдамдығын ұлғайтып, оны жоғары қарай қозғалтатын магнит өрісі пайда болады.

Зерттеулер барысында алынған мәліметтер натурлық эксперименттермен дәлелденді. Жұмыс барысында ANSYS Maxwell бағдарламасында имитациялық модель зерттелді. Мұнда скип шахта оқпанындағы орауыш пен скип бойында орналасқан тұрақты магниттің магнит өрістерінің өзара әсерлесу күштерімен қозғалысқа келтірілді.



1-сурет. Шахта оқпанындағы скип қозғалысының моделі

Жүйенің артықшылығы берілген әдістің потенциалдық тұрғыда жаңа болуында. Тұрақты магниттердің белсенділігі үшін энергия қажет емес. Зерттеушілер тұрақты магниттер левитация жеткілікті күшке ие болмайды деп есептейді. Бірақ бұл мәселені магниттерді массивке орналастыру арқылы шешуге болады. Мұнда магниттер массив пен орауыш арасында пайда болатын магнит өрісі өте төменгі жылдамдықтағы (шамамен 5 км/сағ) левитацияны ұстап тұратындай етіп орналастырылу керек. Алайда тұрақты магниттерден құралған мұндай массивтердің қымбат болуы оның кемшілігі болып табылады [3, 4].

Берілген зерттеудің моделін жасау барысында материалдардың қасиеттері ANSYS Maxwell кітапхана деректерінен алынды. Тұрақты магниттің материалы ретінде NdFeB (неодим-темір-бор) элементі таңдап алынды. Бұл жерде сирек кездесетін магниттер класына кіретін элемент $Nd_2Fe_{14}B$ интерметаллидінен престоу немесе құю арқылы жасалады. Берілген класс магниттерінің ерекшелігі олардың магниттік қасиеттерінің жоғары (B , H және $(B-H) \max$) және бағасының арзан болуында. Коррозияға тұрақтылығының төмен болуына байланысты магниттің беті мыс, никель немесе мырышпен жалатылады. Біздің жағдайда магниттер никельмен жалатылған. Орауыш орамдарының материалы ретінде мыс және қосымша скип пен орауыштың өлшемдері таңдап алынды [5–7].

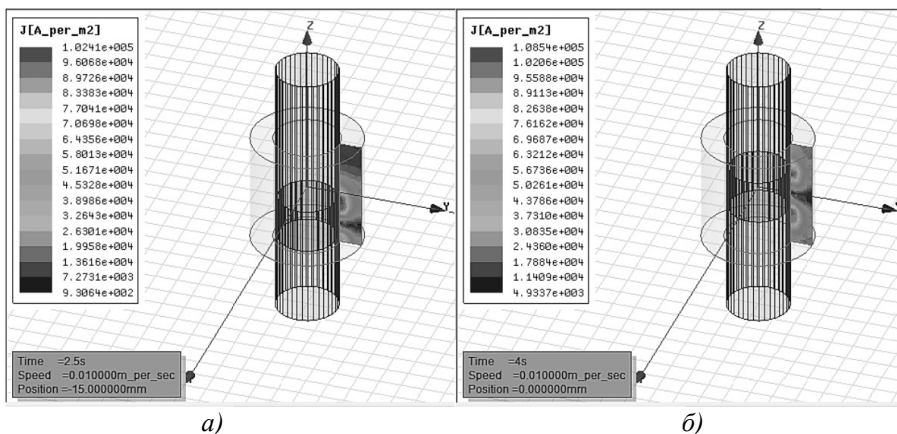
Эксперимент өлшемдері төмендегі модельде жүргізілді. Имитациялық модельді жасау үшін бастапқы мәліметтер кестеде көрсетілген.

К е с т е

Имитациялық модельді жасау үшін бастапқы мәліметтер

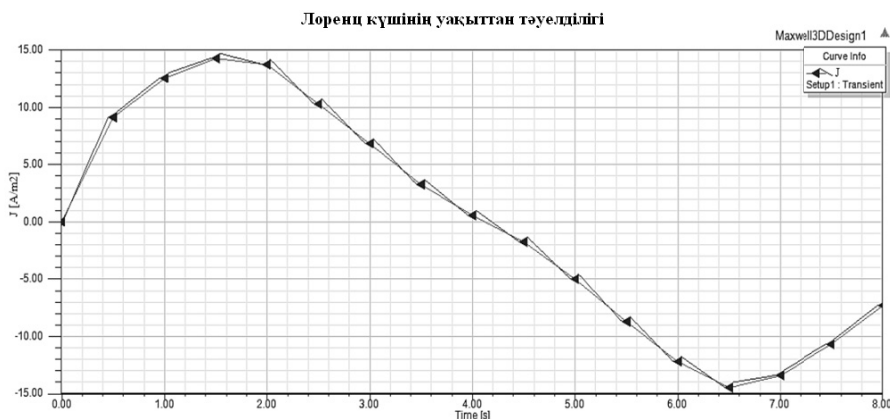
Модельдің түрі	Элемент	x, см	y, см	z, см	d_x , см	d_y , см	d_z , см	$t_{\text{коэф.}}$ с
Имитациялық модель	Скип	0	0	-1	0	1,4	1	8
	Орауыш	0	1,5	-2,5	0	2,5	2,5	0

Зерттеу барысында анықталатын негізгі параметрлер ретінде магнит индукция (B) векторының көрсеткіштері, магнит өрісінің (H) кернеулігі мен Лоренц (J) күші есептелді. Бірінші сипаттамалар магнит өрісінің негізгі параметрлерін анықтайды. Лоренц күші орауыштың шахта оқпанында орналасуына сай z осі бойынша бағытталған. J параметрін анықтаудың есептеу мысалы 2, 3-суреттерде келтірілген.



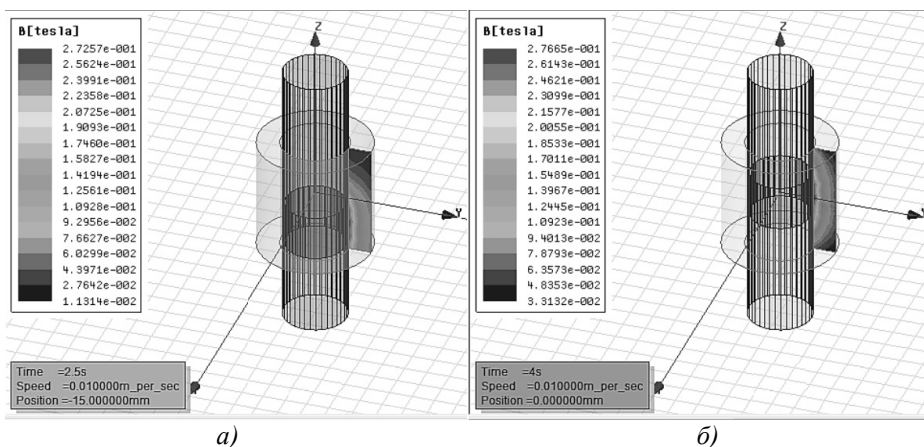
а) скип қозғалысының 2,5 сек.; б) скип қозғалысының 4 сек.

2-сурет. Модель үшін Лоренц күшін есептеу нәтижелері



3-сурет. Лоренц (J) күшінің өзгерісінің уақыттан тәуелділігі

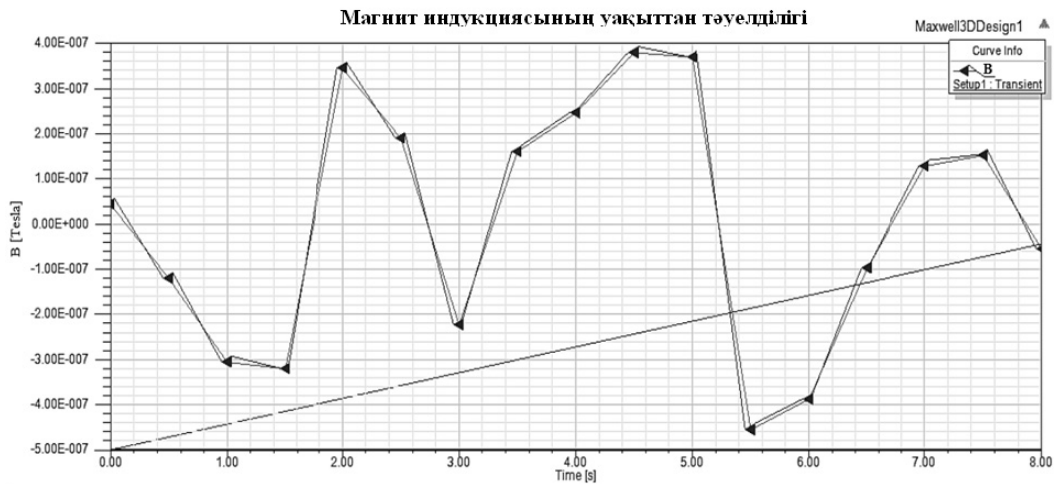
Төмендегі 4-суретте модель үшін магнит өрісі индукциясының сипаттамасы анықталатын есептеу кезеңі көрсетілген. Өзара әсерлесудің толық бейнесін алу үшін скип қозғалыстың 2,5 сек. орналасу моменті мен скиптің шахта оқпанының орта тұсында, яғни қозғалыстың 4 сек., орналасу моменті келтірілген. Сол жақтағы түрлі-түсті диаграммада өзара әсерлесу кезіндегі сипаттаманың ең минимал мәнінен (әлсіз түспен көрсетілген) ең максимал мәніне (қою түспен белгіленген) дейінгі шамалар келтірілген.



а) скип қозғалысының 2,5 сек.; б) скип қозғалысының 4 сек.

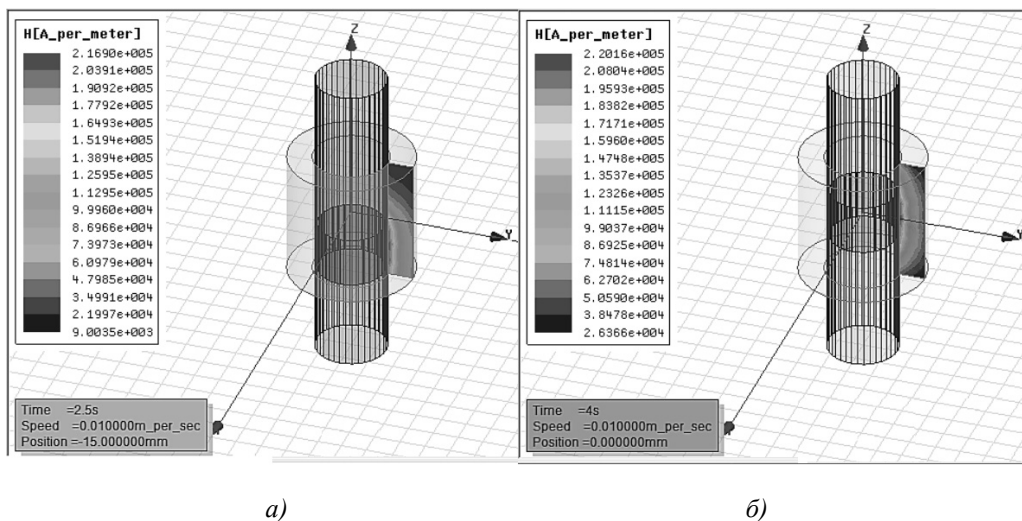
4-сурет. Модель үшін B магнит индукциясын есептеу нәтижелері

Эксперимент нәтижелері ANSYS Maxwell бағдарламасында магнит өрісінің индукция сипаттамаларының максимал мәндерінің уақыттан тәуелділік графигі тұрғызылды (5-сур.). Графиктің есеп берудің нақтылығы үшін уақыт интервалы 0,5 сек. құрады. Графиктегі магнит өрісінің индукциясының әр шамасы тұрақты магниттерден тұратын массив пен катушканың магнит өрісінің қосынды нәтижесі болып табылады. Бұл графиктегі магнит өрісінің индукция мәндерінің өзгерісін түсіндіреді.



5-сурет. Магнит В индукцияның уақыттан тәуелділігі

Осы жағдайға ұқсас жағдай магнит өрісінің кернеулігін параметрлерін есептеу барысында байқалады. Төменде 6-суретте модель үшін Н параметрі анықталатын есептеу кезеңі келтірілген. 6-суреттегі модель 4 сек. кезеңінде көрсетілген. Сол жақтағы түрлі-түсті диаграммада магнит өрісінің кернеулігі сипаттамасының шамасы ең минимал мәндерінен ең жоғары мәніне дейін бейнеленген.



а) скип қозғалысының 2,5 сек.; б) скип қозғалысының 4 сек.

6-сурет. Модельдің магнит өрісінің кернеулігін есептеу нәтижелері

Жүргізілген эксперименттің нәтижелері бойынша ANSYS Maxwell бағдарламасында магнит өрісі кернеулігінің максимал сипаттамаларының уақыттан тәуелділігінің графигі тұрғызылды (7-сур.). Эксперименттің уақыт интервалы 0,5 сек. құрайды. Графикте көрсетілген магнит өрісі кернеулігінің әр шамасы тұрақты массив пен орауыштың магнит өрісінің қосындысы болып келеді. Уақыттың әрбір жеке мезетінде берілген шамалардың сомасы әр түрлі болды. Бұл графиктегі магнит өрісінің кернеулігінің мәндерінің өзгерісін түсіндіреді.



7-сурет. Магнит өрісі H кернеулігінің уақыттан тәуелділік графигі

Бірнеше айнымалылардан функционалды тәуелділіктерді анықтау ANETR бағдарламасы көмегімен бастапқы эксперимент параметрлері негізінде Лоренц күші, магнит өрісінің магнит индукциясы мен кернеулігінің сызықты емес келесі тәуелділіктері алынды:

$$J(R_c, h_c, R_{\text{кат сырт}}, R_{\text{кат ішкі}}, h_{\text{кат}}, t) = (6.62221E-02 \times R_c^2 - 1.17237E+00 \times R_c + 5.85667E+00) \times (-6.24003E-03 \times h_c^2 + 1.86122E-02 \times h_c + 2.69197E+00) \times (2.73563E+00 - 3.85961E-02 \times R_{\text{кат сырт}}) \times (2.78227E+00 - 5.70922E-02 \times R_{\text{кат ішкі}}) \times (-7.99830E-02 \times h_{\text{кат}}^2 + 2.49417E-01 \times h_{\text{кат}} + 2.95974E+00) \times (-2.48646E-02 \times t^2 - 3.20559E-01 \times t + 4.01304E+00) / 1.223708E+02;$$

$$H(R_c, h_c, R_{\text{кат сырт}}, R_{\text{кат ішкі}}, h_{\text{кат}}, t) = (-8.83693E-03 \times R_c^2 + 2.40522E+01 \times R_c + 1.05605E+01) \times (1.84315E+01 - 5.95177E-02 \times h_c) \times (1.83474E+01 - 6.14728E-02 \times R_{\text{кат сырт}}) \times (1.79308E+01 - 5.74880E-02 \times R_{\text{кат ішкі}}) \times (1.81042E+01 - 4.11898E-02 \times h_{\text{кат}}) \times (1.88361E+01 - 1.00375E-01 \times t) / 1.466868E+06;$$

$$B(R_c, h_c, R_{\text{кат сырт}}, R_{\text{кат ішкі}}, h_{\text{кат}}, t) = (-1.02949E-02 \times R_c^2 + 2.35418E-01 \times R_c + 4.07206E+00) \times (4.45300E+00 - 1.59320E-03 \times h_c) \times (4.81287E+00 - 7.89474E-02 \times R_{\text{кат сырт}}) \times (4.63128E+00 - 4.13494E-02 \times R_{\text{кат ішкі}}) \times (h_{\text{кат}} / (6.79117E-02 + 2.45307E-01 \times h_{\text{кат}})) \times (2.50443E-02 \times t^2 - 5.63115E-01 \times t + 5.76167E+00) / 1.734153E+03;$$

мұнда J — Лоренц күші; H — магнит өрісінің кернеулігі; B — магниттік индукция; R_c — скип радиусы; h_c — скип биіктігі; $R_{\text{кат сырт}}$ — орауыштың сыртқы радиусы; $R_{\text{кат ішкі}}$ — орауыштың ішкі радиусы; $h_{\text{кат}}$ — орауыштың биіктігі; t — скиптің қозғалыс уақыты.

Электромагнит өрісі параметрлерінің электромагниттер параметрлерінің өзгерісінің сызықты емес тәуелділіктері және арнаулы функциялары алынды. Лоренц күшінің, магнит индукциясының және магнит өрісі кернеулігінің уақыттан тәуелділіктері анықталды. ANSYS Maxwell бағдарламалық ортада графиктер тұрғызылып, имитациялық модель жасалды.

Мақала «Пайдалы қазбаларды өңдеу технологиялары» басым бағыты бойынша ҚР БҒМ гранттық қаржыландыру ауқымындағы № 2684/ГФЗ «Электромагниттік көтергіш қондырғысын жасау арқылы тау массасын алудың энергия үнемдеу технологиясын негіздеу мен жасау» тақырыбы бойынша, сонымен қатар «Энергетика мен машина жасау» басым бағыты бойынша №0686/ГФ4 «Энергия үнемдеу көтергіш қондырғысының комплекстік қорғау және автоматты басқару жүйесін жасау» тақырыбы бойынша орындалған зерттеулер нәтижелері негізінде жазылды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Айкеева А.А. Имитационное моделирование динамики уплотняющих устройств в шахтных пневмоподъемных установках: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. «Стратегические вопросы мировой науки – 2008» // Наука и исследования. — 2008. — Вып. 9. — С. 30–34.
- 2 Казаков Ю.Б., Щельякалов Ю.Я. Исследование магнитного поля в воздушном зазоре стартера СТ 230Б: тез. докл. науч.-техн. конф. — Иваново: Иванов. энерг. ин-т, 2008. — С. 129.
- 3 Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справ. пособие. — М.: Машиностроение-1, 2004. — 512 с.
- 4 Айкеева А.А., Жаутиков Б.А., Роговая К.С., Жаутиков Ф.Б., Мухтарова П.А. Применение компьютерного моделирования для выбора параметров электромагнита // Автоматика и информатика. — 2015. — № 2 (37). — С. 71–74.
- 5 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Rogovaya X.S., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. 3-D modeling of elements of skip-electromagnet system // Eurasian Physical Technical Journal. — 2015. — Vol. 12. — No. 2 (24). — P. 28–32.
- 6 Айкеева А.А., Жаутиков Б.А., Жанасбаева А.С., Мухтарова П.А. Исследование нагрузок на скип шахтной и карьерной электромагнитной подъемной установки // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Физика. — 2015. — № 3 (79). — С. 90–95.
- 7 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. The research loads on the skip of mine and quarry electromagnetic lifting installation // Eurasian Physical Technical Journal. — 2015. — No. 1 (23). — P. 59–64.

А.А. Айкеева, К.С. Роговая, А.Р. Танскожанова,
А.Е. Аюбекова, П.А. Мухтарова, А.Е. Оспанов

Разработка имитационной модели в программной среде ANSYS Maxwell

Статья направлена на разработку имитационной модели элементов системы электромагнитной подъемной установки. В работе представлен и описан принцип работы элементов электромагнитной подъемной установки «скип–магнитный массив–катушка». Моделирование проводилось в программе ANSYS Maxwell. Задачей моделирования является определение основных магнитных параметров элементов установки: силы Лоренца, напряженности магнитного поля и магнитной индукции. По рассчитанным параметрам построены графические диаграммы и составлены целевые функции в виде уравнений с несколькими параметрами.

Ключевые слова: электромагнитная подъемная установка, магнитная левитация, программа ANSYS Maxwell, сила Лоренца, напряженность магнитного поля, магнитная индукция.

A.A. Aikeyeva, X.S. Rogovaya, A.R. Tanskozhanova,
A.E. Ayubekova, P.A. Mukhtarova, A.E. Ospanov

Development of imitating model of skip motion in the program environment ANSYS Maxwell

This work is directed on development of imitating model of electromagnetic lifting installation system elements. In the work the principle of work of electromagnetic lifting installation elements of the «skip–constant magnet–coil» is presented and described. Model operation was carried out in the ANSYS Maxwell program. The task of model operation is determination of the key magnetic parameters of installation elements: the Lorentz forces, magnetic intensity and magnetic induction. According to calculated parameters graphic charts are made and engineering functions in the form of the equations with several variables are constructed.

Keywords: electromagnetic lifting installation, magnetic levitation, ANSYS Maxwell program, Lorentz force, magnetic intensity, magnetic induction.

References

- 1 Aikeyeva A.A. *Simulation modeling of the dynamics of the sealing device in mine pneumatic lighting installations*: proceedings of the IV International scientific-practical conference «Strategic questions of world science – 2008», Nauka i studia, 2008, 9, p. 30–34.
- 2 Kazakov Yu.B., Shchelykalov Yu.Ya. *The study of the magnetic field in the air gap ST230B starter*: Abstracts of scientific and technical conference, Ivanovo: Energ. Inst. Ivanovo, 2008, p. 129.
- 3 Chigarev A.V., Kravchuk A.S., Smalyuk A.F. *ANSYS to engineers*: right. manual, Moscow: Mashinostroenie-1, 2004, 512 p.

4 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Rogovaya K.S., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. *Automatics and Informatics*, 2015, 2 (37), p. 71–74.

5 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Rogovaya X.S., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. *Eurasian Physical Technical Journal*, 2015, 12, 2 (24), p. 28–32.

6 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Zhanasbaeva A.S., Mukhtarova P.A. *Bull. of the Karaganda State University, Ser. Physics*, 2015, 3 (79), p. 90–95.

7 Aikeyeva A.A., Zhautikov B.A., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. *Eurasian Physical Technical Journal*, 2015, 1 (23), p. 59–64.

ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ METHODOLOGY OF PHYSICS

UDC 378.147: 372,853

T.S. Kovel, L.F. Ilina

*Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan
(E-mail: tanya.kovel.95@mail.ru)*

Scientific bases of elementary physics course on the example of the part «Conservation laws in mechanics»

The article is devoted to the conservation laws in mechanics. In this paper, an overview of the 3 fundamental physical laws, which are important in physics is quite huge. Conservation laws hold of all the laws of nature a special position. It should be noted, however, that they are the basis for the most important calculations in physics and its technical applications, in some cases, allow to predict the effects and phenomena in the study of a variety of physical and chemical systems and processes. The conservation laws allow a relatively simple way, without considering the forces acting on the body and without motion tracking system of bodies, to solve a number of practical problems.

Keywords: impulse, energy, angular momentum, homogeneous, isotropic, closed system, the increased complexity of the problem.

The conservation laws — the fundamental physical laws, according to which, under certain conditions, some measurable physical quantities characterizing a closed physical system does not change over time. The philosophical background to the discovery of these laws were laid more ancient philosophy, and Descartes and M.V. Lomonosov.

Some of the conservation laws are carried out always and under all conditions (for example, the laws of conservation of energy, momentum, angular momentum, mass, electric charge), or, at least, have never been observed processes, contrary to these laws.

The value of conservation laws in mechanics and physics huge. In addition, and most importantly, open to the mechanics of the laws of conservation of momentum and energy in physics play a huge role, far beyond the scope of most mechanics. Even in those cases, when the laws of Newtonian mechanics can not be used (for example, the motion of electrons in the atom), the laws of conservation of mechanical variables do not lose their value. They apply both to the bodies of normal size, and to the cosmic bodies and elementary particles.

It is the universality of the conservation laws and their applicability to all the phenomena of nature, and not only to the mechanical make these laws is very important.

Conservation laws hold among all the laws of nature, a special place. The generality and universality of the conservation laws determine their great scientific, methodological and philosophical significance [1].

The discovery and synthesis of conservation laws occurred with the development of the whole of physics.

The most important conservation laws are valid for any isolated systems, are:

- the law of conservation of momentum;
- the law of energy conservation;
- the law of conservation of angular momentum;

The laws of conservation of energy, momentum and angular momentum are, as it turned out, very deep origin, associated with the fundamental properties of space and time — homogeneous and isotropic. Namely, the law of conservation of energy is related to the homogeneity of time, and the laws of conservation of mo-

mentum and angular momentum — according to homogeneous and isotropic space. The foregoing should be understood in the sense that these conservation laws can be derived from Newton's second law, when he was joined by the corresponding symmetry properties of space and time.

Opening the possibility of a different approach to the various mechanical phenomena, laws of conservation have become very powerful and effective tool for the study, which routinely use physics. This essential role of conservation laws as a research tool due to a number of reasons.

1. The conservation laws do not depend on the particle trajectories, nor the nature of the active forces. Therefore, they provide a number of very common and important conclusions about the properties of various mechanical processes, without going into a detailed examination of their using the equations of motion. If, for example, it turns out that such a process is contrary to the laws of conservation, we can just assert that this process is impossible and pointless to try to implement it.

2. The fact that the conservation laws do not depend on the nature of the forces makes them even when the forces are unknown. In these cases, the conservation laws are unique and irreplaceable research tool. Thus, for example, is the case in elementary particle physics.

3. Even in those cases where the force is exactly known conservation laws can be of great help in solving many problems of the motion of particles. While all of these problems can be solved with the help of the equations of motion (in this respect, from the conservation laws we do not get any additional information), attracting conservation laws often provides a solution to the most simple and elegant way, saving us from the cumbersome and tedious calculations. Therefore, when new challenges are usually accepted to adhere to the following order: first of all, one by one, apply the relevant laws of conservation, and just making sure that this is not enough, then transferred to a solution with the help of the equations of motion.

Consider the law of conservation of momentum.

Momentum has an interesting and important property, which is only a few physical quantities. This preservation of the property.

What is it?

The property is maintained - this property is to remain unchanged. It is such a pulse property of bodies. It refers to the case where two or more bodies interact with each other, but they are not acted upon by external forces. Such a group of bodies, or, as they say, *body system, called closed: closed system of bodies — a collection of bodies interacting with each other, but do not interact with other bodies* [2].

We explain the concept of a closed system and the preservation of the property of the momentum simple experiments.

We put on two horizontal rails carts of equal mass m . To one end of which is fixed a ball of plasticine and each of them are fixed to the ends of the spring buffer (Fig. 1). Suppose first the trolley facing each other ends, devoid of springs.

We inform both carts same modulo speed toward one another.

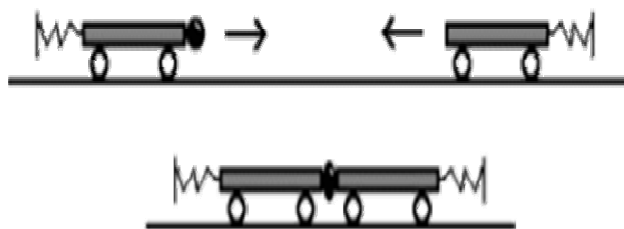


Figure 1. The collision carts without springs

Carts meet, plasticine hold them together, and they will stop. The test results are easy to understand. Two colliding carts — a system of two interacting bodies. It can be considered a closed system, because the action of the other bodies — the Earth and supports compensated. Before meeting the pulses of both carts on the module are equal to each other and in the direction opposite. Therefore, the sum of the pulses of both carts is equal to zero. During the collision carts interact, that is act on each other with some forces, equal in modulus and opposite in direction (Newton's third law) [3]. Therefore, the momentum of each of the carts changed. But the amount of pulses has remained the same, i.e., zero — because the carts stopped. We rotate the carts so that they face each other spring buffers (Fig. 2).

By repeating the experience, we see that after the collision carts disperse in opposite directions with equal in magnitude but opposite in direction velocity. It means, the interaction of the pulses changed again, but the sum of the pulse is still zero, as they say, it has been preserved.

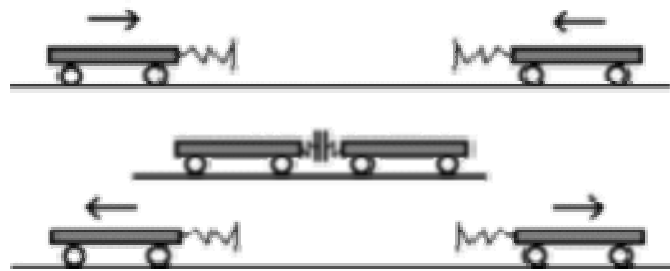


Figure 2. The collision carts with spring buffers

The masses and the velocities of the bodies may be different. We should not think that the total momentum of a system of bodies is saved only when it is zero.

Let the mass of carts are not the same: the mass of carts is left m_1 , right — m_2 . Let the velocity reported carts, are different — \vec{v}_1 at the left and \vec{v}_2 right carts. It means, the momentum before the collision left carts was $m_1\vec{v}_1$, right — $m_2\vec{v}_2$. In a collision the cart on the left acted some force \vec{F} , to the right — it is equal in magnitude but opposite in the direction of the force, that is $-\vec{F}$. Time t action of the force \vec{F} is the same as the effect of force $-\vec{F}$. As a result of the forces of both velocities, carts changed. Let the speed of the left carts became equal \vec{v}'_1 , right $-\vec{v}'_2$. Changed course and carts pulses.

Let us write the equation for each carts.

To the left carts:

$$\vec{F}t = m_1\vec{v}'_1 - m_1\vec{v}_1;$$

to the right:

$$-\vec{F}t = m_2\vec{v}'_2 - m_2\vec{v}_2.$$

Add up these equalities term by term

$$0 = m_1\vec{v}'_1 - m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}'_2 - m_2\vec{v}_2, \text{ or } m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2.$$

In the left-hand side is the sum of the momentum of both carts before the collision, the right - the sum of the momentum of the same carts after the interaction. The momentum of each carts has changed, the sum remained unchanged.

If the two do not interact, as in our examples, but many bodies, it is possible by applying to each of them a formula $\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$, to prove that in these cases the sum of the momenta of the closed system of interacting bodies is unchanged (conserved). This is the law of conservation of momentum.

Geometric sum bodies momenta constituting a closed system remains constant in all the movements and interactions of the system bodies.

Consider the problem of high complexity, using the law of conservation of momentum.

Gunners shoot so that the kernel got into the enemy camp. At the time of departure the core from a cannon at him sits Baron Munchausen, and therefore the core falls short of the target. What part of the way Myunhauzen have to walk to get to the enemy camp? Accept that the Baron has a mass 5 times greater than the core. Planting Baron considered inelastic collision [4].

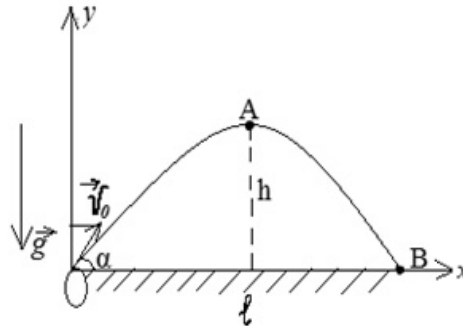
Given:

B.Myunhgauzen

$$m_B = 5m_A$$

 $\eta = ?$

Solution:



$$v_{0,x} = v_0 \cos \alpha \quad v_x = \text{const} = v_0 \cos \alpha$$

$$v_{0,y} = v_0 \sin \alpha$$

$$v_y(A) = 0 = v_0 \sin \alpha - g t_{OA}; \quad t_{OA} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$t_{OAB} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g};$$

$$l = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$m_A \vec{v}_0 = 6m_A \vec{v}'_0;$$

$$\vec{v}_0 \parallel \vec{v}'_0; \quad \alpha = \alpha'$$

$$\text{modulo: } v'_0 = \frac{v_0}{6};$$

$$l' = \frac{1}{36} \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g};$$

$$\Delta l = \frac{35}{36} l;$$

$$\eta = \frac{35}{36}$$

Let us turn to the law of conservation of energy.

If the body system can do the work, then we say that it has energy. Energy characterizes the ability of the body (or system of bodies) do work.

Making mechanical work, the body or system of bodies moving from one state to another, where their energy is minimal.

Energy in mechanics — the value determined by the state of the system — the position of body or body parts and their velocities [5].

The kinetic energy — the energy, which has a moving body.

The kinetic energy of a material point — a value equal to half the product of the mass of the square of its velocity:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Potential energy — the energy of interaction of bodies, due to their relative positioning of body parts.

An amount equal to half the product of k body elasticity coefficient of elongation or compression of x squared, called the potential energy of the elastic deformation of the body:

$$E_{\pi} = \frac{kx^2}{2}.$$

The law of conservation of mechanical energy:

In an isolated system, where there are conservative forces, the mechanical energy is conserved.

The law of conservation of mechanical energy linked to the homogeneity of time, i.e., invariance of physical laws on the selection of the starting time. For example, when the free fall of the body in the gravitational field of its speed and distance traveled depend only on the initial velocity and duration of the free fall of the body and does not depend on when the body began to fall.

In order to introduce the concept of mechanical energy on the basis of Newton's law II, the concept of work. We proceed to solve highly complex challenges.

A chain of mass $m = 0.80$ kg and length $l = 1.5$ m rests on a rough-surfaced table so that one of its ends hangs over the edge. The chain starts sliding off the table all by itself provided the overhanging part equals $\eta = 1/3$ of the chain length. What will be the total work performed by the friction forces acting on the chain by the moment it slides completely off the table? [6].

Given:

Chain

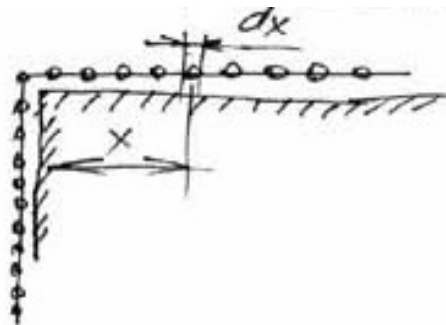
$m = 0,8$ kg

$l = 1,5$ m

$\eta = \frac{1}{3}$

$A_{TP} - ?$

Solution:



$$F_{mp} = k \cdot (1 - \eta)mg = \eta mg$$

$$k = \frac{\eta}{1 - \eta} \text{ — friction coefficient}$$

$$\delta A = \frac{\eta}{1 - \eta} \frac{m}{\ell} x g dx$$

$$A = \frac{\eta}{1 - \eta} \frac{mg}{\ell} \frac{x^2}{2} \Big|_{(1-\eta)\ell}^0 = -\frac{\eta}{(1-\eta)} \frac{mg}{2\ell} (1-\eta)^2 \cdot \ell^2$$

$$A = -(1-\eta)\eta \frac{mg\ell}{2}$$

If the body is rotating, it introduced its momentum.

The moment of momentum of the system can be changed only under the action of the total moment of the external forces. Hence it follows directly follows another important conclusion — the law of conservation of angular momentum:

The angular momentum of a closed system of particles remains constant, that is it does not change with time, and this is true for the angular momentum taken with respect to any point of the inertial reference system.

Thus, in the inertial reference system the angular momentum of a closed system of particles

$$\vec{L} = \sum \vec{L}_i(r) = \text{const.}$$

Demonstrate the law of conservation of angular momentum can be with the help of Zhukovsky bench. Let the man sitting on the bench, which is without friction rotates around a vertical axis, and holding in his

outstretched hands dumbbells (Fig. 6) is shown in rotation with angular velocity of the ω_1 . If the person will squeeze the dumbbells to her, the moment of inertia of the system is reduced. Since the moment of the external forces is zero, the moment of momentum of the system conserved, and the angular velocity ω_2 increases. Similarly, a gymnast during a jump is running out to the torso arms and legs to reduce its moment of inertia and thereby increase the angular velocity of rotation.

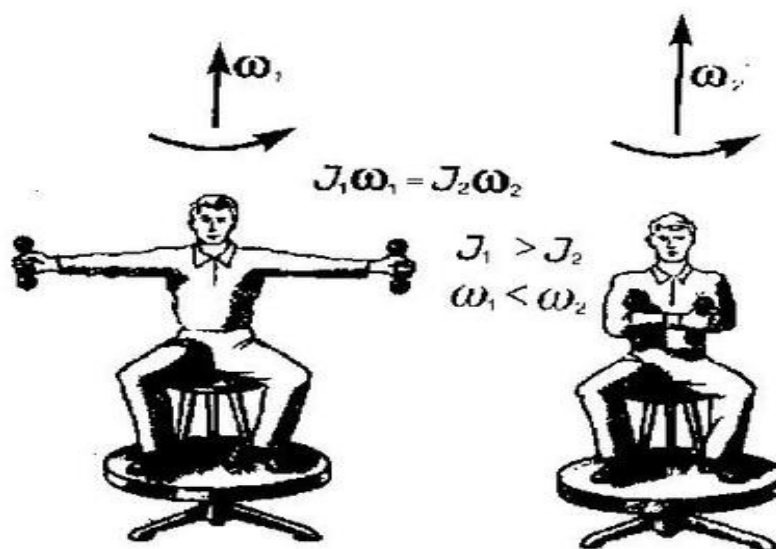


Figure 3. Demonstration of the law of conservation of angular momentum with the help of Zhukovsky bench

The law of conservation of angular momentum plays such an important role, as the laws of conservation of energy and momentum. Already in itself it does not allow in many cases a number of significant conclusions about the properties of various processes, it is not going into their detailed consideration.

Of particular interest are the cases where the angular momentum \vec{L} conserved for open systems in which, as is known, the momentum \vec{p} varies with time.

The reasoning that leads to the law of conservation of angular momentum is entirely based on the validity of Newton's laws. And as is the case in systems that do not obey these laws, such as electromagnetic radiation systems, atoms, nuclei, and others?

Given the huge role played by the law of conservation of angular momentum, in physics the concept of angular momentum to extend the non-mechanical systems (which are not subject to the laws of Newton) and postulated the law of conservation of angular momentum for all physical processes.

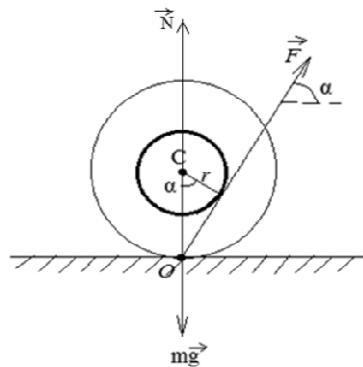
Such an expanded the law of conservation of angular momentum is no longer a consequence of Newton's laws, and is an independent general principle, which is a generalization of experimental facts. Along with the laws of conservation of energy and momentum conservation law of angular momentum it is one of the fundamental laws of nature. Consider the problem of increased complexity in the law of conservation of angular momentum.

The horizontal plane is the thread coil. Coil pull a thread. At what angle α between the force and the horizontal coil will accelerate in the direction of the thread taut? [7].

Given:
Coil of threads
R
r

α -?

Solution:



The condition of equilibrium (equation of moments): with respect to the point O; moment of force $F_{тяж}$ = 0, force action line \vec{F} should pass through this point;

$$\cos \alpha = \frac{r}{R}; \cos \alpha > \frac{r}{R}$$

$\alpha < \alpha_0$ — must be

Thus, the present article is devoted to the three integrals of motion, i.e., such physical characteristics that persist over time in closed or isolated system of bodies. The common property of integrals of motion is the addition. This means that the characteristic of a system of bodies is equal to the sum of the relevant characteristics of a system of bodies. This fundamental laws that are associated with the properties of space and time: the homogeneity of space, time, homogeneity, isotropy of space. Using the solution of problems of conservation laws facilitates this solution in comparison with the use of Newton's Law II. And in those cases where the closed system, the use of Newton's law II excluded. Moreover, there are areas of mechanics, for example, fluid mechanics and gas, in which «work» is the conservation laws, but in an unconventional way. So the equation of continuity — it is the law of conservation of mass; Bernoulli equation and the formula Torricelli — the law of conservation of energy.

References

- 1 *Иродов И.Е.* Основные законы механики. — М.: Просвещение, 1988. — 251 с.
- 2 *Гельфер Ю.М.* Законы сохранения. — М.: Наука, 1967. — 264 с.
- 3 *Кикоин И.К., Кикоин А.К.* Физика: учебник для 9 класса. — М.: Просвещение, 1992. — 191 с.
- 4 *Степанова Г.Н.* Сборник задач по физике: для 9–11 классов средних учебных заведений. — М.: Просвещение, 1997. — 256 с.
- 5 *Трофимова Т.Н.* Курс физики. — М.: Высш. шк., 1990. — 478 с.
- 6 *Савельев И.В.* Задачи по общей физике. — М.: Наука, 1982. — 272 с.
- 7 *Воробьев И.И., Зубков П.И., Кутузов Г.А. и др.*: учебник. — Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 1999. — 370 с.

Т.С. Ковель, Л.Ф. Ильина

«Механикадағы сақталу заңдары» бөлімі мысалындағы элементарлы физика курсының ғылыми негіздері

Мақала механиканың сақталу заңына арналған. Авторлар физикада маңызы зор қосымшаларда үш фундаменталды заңдарды қарастырған. Яғни, олар физикадағы және техникалық маңызды негізгі есептеулер болып табылады және кей жағдайларда әр түрлі физика-химиялық жүйелер мен үрдістерді зерттеу кезінде әсер мен құбылыстарды алдын ала болжауға мүмкіндік туады. Сақталу заңдары салыстырмалы оңай түрде, денеге әсер ететін күштер мен жүйедегі дененің қадағалауын есепке алмай бірнеше практикалық маңызды есептерді шығаруға болады.

Кілт сөздер: импульс, энергия, импульс моменті, біртектілік, изотроптылық, жабық жүйе, жоғары деңгейлі есептер.

Т.С. Ковель, Л.Ф. Ильина

Научные основы элементарного курса физики на примере раздела «Законы сохранения в механике»

Статья посвящена законам сохранения в механике. В работе приведен обзор трех фундаментальных физических законов, значение которых в физике является достаточно огромным. Законы сохранения занимают среди всех законов природы особое положение. Следует отметить и то, что они являются основой важнейших расчетов в физике и ее технических приложениях, позволяют в ряде случаев предсказывать эффекты и явления при исследовании разнообразных физико-химических систем и процессов. Законы сохранения позволяют сравнительно простым путём, без рассмотрения действующих на тела сил и без прослеживания движения тел системы, решать ряд практически важных задач.

Ключевые слова: импульс, энергия, момент импульса, однородность, изотропность, закрытая система, задачи повышенной сложности.

References

- 1 Irodov I.E. *The basic laws of mechanics*, Moscow: Prosveshchenie, 1988, 251 p.
- 2 Gel'fer Yu.M. *Conservation laws*, Moscow: Nauka, 1967, 264 p.
- 3 Kikoin I.K., Kikoin A.K. *Physics: textbook for 9 kl.*, Moscow: Prosveshchenie, 1992, 191 p.
- 4 Stepanova G.N. *Collection of problems in physics: for 9–11 class. secondary institutions*, Moscow: Prosveshchenie, 1997, 256 p.
- 5 Trofimova T.N. *Physics Course*, Moscow: Vysshaya shkola, 1990, 478 p.
- 6 Savelyev I.V. *Problems in general physics*, Moscow: Nauka, 1982, 272 p.
- 7 Vorobyov I.I., Zubkov P.I., Kutuzov G.A. et al. *Textbook*, Novosibirsk: Novosibirsk State University, 1999, 370 p.

Zh.Sh. Kuralbayeva¹, A.S. Kudussov², A.Z. Beybitova²

¹Specialized school-internat Daryn, Karaganda, Kazakhstan;

²Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan

(E-mail: juka9191@mail.ru)

Application of CLIL teaching methods in the educational process of physics lessons

Main goal of this article is to help learners more effectively acquire knowledge, skills and abilities for the development of the lesson structure of teaching in a foreign language. The article discusses proven methods surroundings of CLIL (subject and language integrated learning). For example, a particular tutorial, the author demonstrates how the structure and possibility of implementing of this methodology in the preparation of textbooks on foreign languages. It has been argued the necessity of creating such textbooks, books for students at the natural – mathematical direction. The article also discusses courses of the British Council for the teaching of a subject in a foreign language about the positive aspects of both teacher and student.

Keywords: information, methodology, integration, structure of the lesson, English language, foreign language teaching, CLIL, British Council.

Introduction. Multilingualism as an important direction of development of mankind has been aware for a long time. At the moment it is impossible to imagine that somewhere else there are countries where people had only one language. In reality, there are no civilized countries where only one nation. The normal functioning of any multinational state is very significantly the formation of bilingualism and multilingualism.

An important strategic objective of education in Kazakhstan is on the one hand, the preservation of the best of Kazakhstan educational traditions, on the other, ensuring that graduates of schools of international qualifications, the development of their linguistic consciousness, based on the master the state, native and foreign languages.

Kazakhstan pays great attention to the study of the languages of the people of this country. Here The Kazakh is the native language, and Russian the language of interethnic communication. Under the state program of a new generation of textbooks published in the country in six languages: Kazakh, Russian, Uigur, Uzbek, Turkish and German. Foreign languages are studied in all schools. Considering that training is carried out in the state, the Kazakh, the language of interethnic communication, Russian in schools, colleges and universities, and all educational institutions provide for the study, except for Russian, still at least one foreign language then we can say that Kazakhstan has already formed a bilingual situation and the trend of multilingual education [1].

«Kazakhstan is mainly established bilingualism as an essential part of the culture of interethnic communication. The man who owns in addition to his native language of another people able to communicate with a large number of people to join the material and spiritual wealth produced by native speakers of another nation, closer and deeper to get acquainted with its history, culture» [1].

In his address to the nation in 2009, «New Kazakhstan in new world» the President of the Republic of Kazakhstan N.A. Nazarbayev noted that in order to ensure the competitiveness of the country and its citizens proposed phased implementation of the cultural project «Trinity of languages», according to which it is necessary to develop three languages: Kazakh as the state language, Russian as the language of interethnic communication and English as the language of successful integration into the global economy [1].

We all know that the system of education in society and its state depends very much, almost, is the Foundation of the future society it is important to note the role of language which is the most important if not Central place in society and its system of relations. School as an educational institution, its ability to create and develop conditions for successful foreign language learning. That is why there are new educational technologies and one such technology is subject and language integrated learning called CLIL [2].

The abbreviation CLIL means Content and Language Integrated Learning - integration of foreign language teaching and other disciplines. For the first time the term was coined by David Marsh in 1994. This type of teaching characterized by learning situations where subjects or parts of subjects taught in a foreign language, thus pursuing a twofold objective: the study of the subject and the simultaneous mastering of a foreign language. Marsh continued his studies, and in 2001, the essence of the methods was interpreted in the

following way: CLIL considers learning a foreign language as a tool for studying other subjects, thus forming the student need in school, which allows him to rethink and develop their skills in communication, including in their native language.

This method is considered one of the most successful, as it allows you to combine the study of two or more items, one of which is a foreign language.

What's different about General English from subject and language integrated learning? General English involves the study of basic English. The learner's vocabulary, grammar, form the skills of reading, writing, listening. While the object-language integrated learning is that the listener is learning English through the subject and object through language. Language integrated General education program and knowledge of the language becomes a means of examining the content of the subject, thereby increasing students' motivation to use language in context when they are interested in the subject. Language learning becomes more purposeful as the language is used for solving specific communicative tasks. In addition, the essential skill is reading texts in a foreign language. Let's consider principle of 4 «C» CLIL methodologies: content, communication, cognition, culture. Like any other technology, this method has its pros and cons. First, by means of this technology the study of the English language becomes purposeful, because language is used for solving specific communicative tasks, increases motivation, forming social-cultural competence, and updated vocabulary of subject terminology. But to achieve these goals by the teacher of a foreign language increased demands. This study cannot fully replace the study of the subject in their native language but it can complement it significantly. Thus, the material for academic subjects must be chosen on the difficulty level slightly below the current level of students' knowledge on this subject in their native language. The selection of curriculum materials will depend on the structure of the course, a certain educational institution. Tasks on text processing must be built with a focus on subject content, involving students in the process of understanding, discussion of the main ideas of the text and check. The job should show the features of linguistic forms, to develop skill in their creation, use different types of testing and evaluation, such as self-control and mutual control. Assignments should encourage independent and creative activity of pupils, the communicative tasks for oral and written communication in a foreign language. Students should be familiar with union strategies for language, content and communicative difficulties [3].

Results and discussion. The main didactic unit in the CLIL methodology is a special text on the basis of investigation and study which is achieved the above objectives. The text as a source of information introduces the reader to a specific subject and is the basis of grammatical vocabulary module that provides the mastering of scientific vocabulary and specific grammatical, structural and stylistic designs. The text is also the starting point for discussion and extension of linguistic material on a given topic, while contributing to the formation and intensification of communicative skills of dialogical and monological speech. Thus method of subject and language integrated learning a foreign language covers the main types of speech activity, promotes student engagement in learning, develops their linguistic competence and enhances the academic motivation. Despite the fact that the method of CLIL for several years has been actively used in Western educational institutions in the former Council Union are talking about it relatively recently. As rightly pointed out by T.G. Lapteva, «using integrated method of teaching foreign languages in a technical University is a means of students' motivation for learning and an instrument of multilingual education. Effective work with special texts in a foreign language helps to provide the students with necessary linguistic and communicative competence in a second language and contributes to the continued development of their scientific knowledge and skills» [4]. It should be noted that this method is effective not only in a technical University, but also in any other non-linguistic higher school.

Work in class building, so that child would change the activity during the lesson, and therefore must consider the text as the basis for action. Each text attached politics by wordlist of specific terminology, various tasks, designed by level of difficulty and focused on subject content, its interpretation and subsequent use in creative unprepared speech, in particular, in the discussion on the topic. For example, when reading the following text, the students receive and fix a certain amount of knowledge used in physics [5].

Physics is one of the most ancient sciences about nature. The word «physics» takes its origin from the Greek word «phewsis» meaning nature. The development of other sciences depends in many respects on the knowledge of physical phenomena. Physics studies various phenomena in nature: mechanical motion, heat, sound, electricity, magnetism and light. Physics divides itself very naturally into two great branches, experimental physics and theoretical physics. The former is the science of making observations and devising experiments which give us accurate knowledge of the actual behaviour of natural phenomena. On the basis of experimental facts theoretical physics formulates laws and predicts the behaviour of natural phenomena.

Every physical law is based on experiments and is devised to correlate and to describe accurately these experiments. The wider the range of experience covered by such a law, the more important it is. Physics is divided into half a dozen or more different fields — mechanics, sound, heat, electricity and magnetism, light, molecular, atomic and nuclear physics. These different fields are not distinct but merge into each other. In all cases physics deals with phenomena that can be accurately described in terms of matter and energy. Hence, the basic concepts in all physical phenomena are the concepts of matter and energy. And it is important to determine accurately the characteristics of matter and energy, the laws that govern their transformations, and the fundamental relations that exist between them.

I. Find out the words in the dictionary. Write them down and learn.

Phenomenon, nature, natural, to depend on (upon), knowledge, theory, to devise, accurate, to formulate, law, to predict, on the basis of, to correlate, distinct, to merge, to deal with, in terms of, matter, hence, concept, to determine, characteristics, to govern, transformation, to exist, to indicate, investigation, to situate, to surround, to revolve, stable, solid, gas, liquid, plasma

II. Define the part of speech of the following words and translate them into Russian

a) physics – physicist – physical nature – naturalist – natural experiment – experimentalist – experimental theory – theorist – theoretical chemistry – chemist – chemical observation – observer – observational transformation – transformer – transformable indication – indicator – indicative

b) accurate – accurately mechanical – mechanically natural – naturally actual – actually central – centrally positive – positively negative – negatively

III. Find English equivalents in the text

1. various phenomena in nature _____
2. depends in many respects _____
3. physics is divided very natural _____
4. the two large areas _____
5. science to conduct observations _____
6. gives us accurate knowledge _____
7. formulates laws _____
8. using the concepts of matter and energy _____
9. consequently _____
10. the basic concepts _____

IV. Translate the following word combinations and noun groups into Russian.

1. Modern physical methods of investigation have shown that the atom consists of a centrally situated nucleus with a total positive charge surrounded by a number of electrons which revolve about the nucleus. 2. In a stable atom, the total positive charge of the nucleus is equal to the total negative charge of the electrons which surround the nucleus.

V. Fill in the missing words. 1. Physics is one of the most ancient _____ about nature. 2. The development of other sciences _____ in many respects on the knowledge of physical phenomena. 3. Physics divides itself very naturally into two great branches: experimental physics and _____ physics. 4. Experimental physics gives us _____ knowledge of the actual _____ of natural phenomena. 5. On the basis of experimental facts theoretical physics formulates _____. 6. Physics deals with phenomena that can be accurately described in terms of _____ and _____. 7. It is important to determine accurately the _____ of both matter and energy, the _____ that _____ their transformations. 8. Every substance can be divided into _____ known as molecules. 9. Modern physical methods of _____ have shown that the atom consists of a centrally situated _____ surrounded by a number of _____. 10. In a stable atom, the total positive charge of the nucleus _____ to the total negative charge of the electrons. 11. Matter can _____ in four states: solid, gas, liquid and plasma [5, 6].

Based on the analysis of this fragment of text: — to accentuate a certain subject-language a minimum of scientific terminology (observation, molecular nature, diffusion, matter, liquids, invisible motion) with the subsequent fixing by means of various types of jobs; — to identify structural units in scientific text, words and clichés that are used in scientific style (to measure, distributed throughout, appears) with a view to their subsequent assignment; — to consolidate students familiar form of this time (The Present Simple); — to foster the ability to express their point of view, to reasonably argue or debate, thus activating skills monologue and dialogue speech of students. Work on special texts involves the performance of a variety of written and oral tasks, while the teacher can select material in accordance with the structure of the discipline and specific learning objectives. However, the basic approach must be one in essence and based on subject and language integrated learning. The existing positive experience can serve as a basis for the development of the tradition

of making books and manuals on the methodology CLIL and to find use in the development of textbooks in English and Russian as a foreign language [7, 8].

Readers or books to read can be found on a variety of topics ranging from the structure of matter and ending with space exploration.

For each text there is a dictionary with meanings of difficult words as well as there are prepared tasks that can be used before, during, and after reading and listening text. Methodology CLIL implies the use of different charts, graphs, tables, contributing to the development of the ability to structure, analyse and classify information.

It follows that integrated learning focuses on vocabulary, on the content than on grammar and memorization of rules and from year to year, the recurring themes, it allows students to use a foreign language naturally, considerably increases the motivation to the learning process. Taking into account all factors this methodology will facilitate the implementation of the following goals and objectives: to develop communicative and linguistic competence of students; to increase the motivation to learn a foreign language; learn to use a foreign language freely as a means of solving everyday communication. The course is for primary and secondary school teachers who teach curricular subjects in English. Upon successful completion of this course participants will better understand and be able to:

- break down their instructions;
- evaluate language challenges in the classroom;
- use model language;
- develop enquiry-based learning;
- increase communication in English;
- Improve assessment methods and feedback.

There CLIL course you can find in link of British Council and consist from 2 modules which includes next title.

Unit 1 — CLIL aims and rationale: This first unit provides an introduction to CLIL and some of the ways in which it can be used in the classroom, helping teachers to find a balance between language and content in CLIL lessons.

Unit 2 — Language across the curriculum: Before we start teaching, there are always a number of things we have to consider. What is the lesson topic? What tasks do students have to do, and what language do they need in order to do these tasks and participate fully in the lesson? The focus of this unit is the language that students need in order to participate fully and effectively in the lessons.

Unit 3 — Communication skills across the curriculum: In this unit we will concentrate on functional language, and how we can help our learners by providing them with the necessary language to communicate.

Unit 4 — Cognitive skills across the curriculum: In this unit we are going to look at how we can help students develop their cognitive skills by looking at the cognitive demands of CLIL materials.

Unit 5 — Learning skills across the curriculum: The focus of this unit is to look at the different learning skills and strategies that we can help our students develop, so that they can use their knowledge and language effectively at all levels, and do this more confidently.

Unit 6 — Assessment unit: Principles of CLIL: A good understanding of the principles of CLIL will help you develop your skills to teach CLIL. This unit includes review, reflection and assessment.

Unit 2.1 — Planning a lesson and a series of lessons: Planning a CLIL lesson is in many ways similar to planning a non-CLIL lesson. You will need clear aims, a range of good activities, and step-by-step procedures. However, in a CLIL lesson, the balance of language and content and the type of CLIL approach to be used need to be carefully considered.

Unit 2.2 — Language demands of subject content and accompanying tasks: There is evidence that pre-teaching key vocabulary before reading or listening to new information helps understanding and retention. It's also been proven that it's easier for learners to acquire language when it's presented within authentic contexts (rather than using abstract sentences to demonstrate grammar). This unit will examine these issues for CLIL lessons.

Unit 2.3 — Resources, including multi-media and visual organisers: In order to make the most of their teaching, when teaching in a second language, teachers need to develop a range of ways to present or record information which can be adapted for use in many contexts. In a CLIL lesson, the use of visual organisers can help convey language and content in a friendly and meaningful way to students. This unit will look at how this can be done.

Unit 2.4 — Integrating technology: The use of information and communications technology is exploding around us. Do you embrace it or try to avoid it? This unit helps teachers become more comfortable with technology and learn how it can help you enhance your CLIL teaching.

Unit 2.5 — Material selection and adaptation: Authentic materials are often used in classrooms because they are up to date, relevant and can change the focus of the lesson into something more communicative and related to everyday life. In this unit you will see how to adapt authentic materials for a CLIL lesson.

Unit 2.6 — Activity types: There are a number of ways that we can exploit the information in our course book and supplementary materials in CLIL lessons. This unit looks specifically at the tasks and activities we can use to focus students on content.

Unit 2.7 — Classroom language: In this unit we will be looking at language that teachers use to concept check, check understanding and other classroom necessities for CLIL teaching.

Unit 2.8 — Scaffolding content and language: This unit looks at 'scaffolding' techniques that can be used in the classroom to support students and help them get the most out of the materials.

Unit 2.9 — Developing learning strategies: In this unit, we will look at what a good learner is and some ways to help students take more responsibility for their own progress.

Unit 2.10 — Consolidating learning and differentiation: Good teachers plan lesson time to give students opportunities to look back and recall what they have been learning. Effective activities for consolidation can be varied, enjoyable, and should take different learner levels into account. This unit will look at how to do it.

Unit 2.11 — Introduction to assessment: Many teachers are stuck in a rut in terms of student assessment. What can seem like a simple testing process in the eyes of students (and sometimes their parents too) is actually quite complex, with many methods, features, and outcomes. This unit looks at some of these areas in relation to CLIL.

Unit 2.12 — Types of assessment: In the previous unit, we looked mainly at different types of assessment tasks. In this unit, we will focus more on types of assessment.

Unit 2.13 — Support strategies: This unit will introduce techniques that the CLIL teacher can use in order to be a support to their students, and to remove some of the obstacles that can prevent effective testing.

Unit 2.14 — Summary and assessment: In this unit, you will consider how best to help some individual learners, do a review quiz, and as a final assignment, plan a CLIL lesson.

Develop the skills you need to integrate English and subject content in your lessons and create the most effective learning environment for your students [6].

We know that many teachers have good knowledge of their subject area but lack the confidence and experience needed to conduct lessons effectively in English. This course will give you comprehensive training in CLIL methodology and practical ideas so you can develop your learners' English and subject knowledge at the same time.

The experienced British Council teacher trainers will provide the input and individual feedback you need to develop. The course of British Council is online; you can take a part in professional discussions with other language teachers and experts at a time that suits you [3]. Application of this technique in practices it possible to identify its advantages, as well as some problems of its implementation in the educational process. One of the main advantages of this method is increase the motivation to learn a foreign language from the students. Language learning becomes more focused as the language used to address specific communicative tasks. Once in the situation of communication in a foreign language, students are unable to demonstrate their knowledge in specialized areas such as: construction, education, medicine, culture and art, etc. without the knowledge of a foreign language. This means that they do not have the opportunity to communicate in a professional context. Thus, the ability to communicate in a foreign language in a professional context, becomes a priority. In addition, students have the opportunity to get to know and understand the culture of the target language, which leads to the formation of social competence of students. The student passes through a sufficiently large amount of linguistic material, which is a complete immersion in the natural language environment. It should also be noted that the work on a variety of topics allows you to learn the physical terms, certain language constructs that contribute to the replenishment of the vocabulary learning of subject terminology and prepares it for further study and application of acquired knowledge and skills.

References

- 1 Послание Президента РК Н.А. Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан – 2050»: новый политический курс состоявшегося государства»: материалы мероприятий, посвящ. обсуждению Послания Главы государства / Отв. ред. Б. Султанов. — Алматы: КИСИ, 2013. — 228 с.
- 2 Политика трехязычного образования в Назарбаев интеллектуальных школах. — Астана: Мол. ученый, 2013. — С. 2–3.
- 3 *Нурাকাева Л.Т., Шегенова З.К.* Методические рекомендации учителям по использованию метода предметно-интегрированного обучения (CLIL). — Астана: Мол. ученый, 2013. — С. 8–10.
- 4 *Лантева Т.Г.* Некоторые аспекты использования методики CLIL при обучении иностранным языкам. — Новосибирск: Интерэкспо Гео-Сибирь, 2012. — С. 235–240.
- 5 *Лалетина Т.А.* Интегрированный подход и использование предметно-языковой интеграции при обучении иностранному языку. — Красноярск: ИКИТ СФУ, 2012. — 15 с.
- 6 *Койл Д.* Предметно-языковое интегрированное обучение, мотивирующее учащихся и учителей. — Кембридж: Кембридж Пресс, 2015. — 189 с.
- 7 *Дэвис П., Пирс Э.* Успех в обучении. — Шанхай: Образование Пресс, 2002. — 273 с.
- 8 *Нунана Д.* Проектирование задач на коммуникативных занятиях. — Кембридж: Кембридж Пресс, 1989. — 313 с.

Ж.Ш. Куралбаева, А.С. Кудусов, А.З. Бейбитова

Білім үрдісіндегі физика сабағында CLIL оқыту әдістемесін қолдану

Мақаланың негізі мақсаты білім алушыларға көмек көрсету, пәнді шетел тілдерінде оқыту кезінде сабақтың құрылымын жасау бойынша білім, білік және дағдыларды аса тиімдірек игеру болып табылады. Авторлар өздері ұсынатын CLIL (пәндік-тілдік кіріктірілген оқыту) әдістемесі негіздерін қарастырған. Мысал ретінде физика бойынша оқу құралдарын құрастырған кезде осы әдісті жүзеге асыру мүмкіндіктері мен құрылымы белгілі бір оқулықты көрсетті. Жаратылыстану-математика бағытында оқыту үшін оқу құралдары, ұқсас оқулықтар құрастыру қажеттілігі жайлы айтылды. Сонымен қатар пәнді шетел тілінде оқыту жөнінде Британдық кеңес курстары, оқушылар мен мұғалімдер үшін де жағымды жақтары туралы сөз қозғалды.

Кілт сөздер: ақпарат, әдістері, кірігу, сабақтың құрылымы, ағылшын тілі, шетел тілін оқыту, CLIL, Британ кеңесі.

Ж.Ш. Куралбаева, А.С. Кудусов, А.З. Бейбитова

Применение методики обучения CLIL в образовательном процессе на уроках физики

Основной целью статьи является помощь обучающимся более эффективно овладеть знаниями, умениями и навыками по разработке структуры урока при преподавании предмета на иностранном языке. В статье рассматривается зарекомендовавшая себя методика CLIL (предметно-языкового интегрированного обучения). На примере определенного учебника автором демонстрируются структура и возможности реализации данной методики при составлении учебных пособий по физике. Высказывается мнение о необходимости создания подобных учебников, пособий для обучающихся по естественно-математическому направлению. Также в статье рассматриваются основные положения курсов Британского совета по преподаванию предмета на иностранном языке, показаны их положительные моменты как для учителя, так и для ученика.

Ключевые слова: информация, методика, интеграция, структура урока, английский язык, преподавание иностранного языка, CLIL, Британский совет.

Reference

- 1 Message of the President of Kazakhstan N.A. Nazarbayev to people of Kazakhstan «Strategy» Kazakhstan – 2050»: a new policy established state»: materials of events dedicated to the discussion of the Message of the Head of State, ed. B. Sultanov, Almaty: KISI, 2013, 228 p.
- 2 Policy trilingual education in the Nazarbayev Intellectual Schools, Astana, 2013, p. 2–3.
- 3 Nurakaeva L.T., Shegenova Z.K. *Guidelines for the use of teachers' subject-integrated learning method (CLIL)*, Astana, 2013, p. 8–10.

- 4 Lapteva T.G. *Some aspects of the methodology of CLIL in teaching foreign languages*, Novosibirsk: Interexpo Geo-Siberia, 2012, p. 235–240.
- 5 Laletina T.A. *Integrated approach and use in teaching object-linguistic integration of foreign-language*, Krasnoyarsk: IKIT SFU, 2012, 15 p.
- 6 Coyle D. *Subject-language integrated learning, motivate students and teachers*, Cambridge: Cambridge Press, 2015, 189 p.
- 7 Davies P., Pierce E. *Success in learning*, Shanghai: Education Press, 2002, 273 p.
- 8 Noonan D. *Designing tasks for the communicative lessons*, Cambridge: Cambridge Press, 1989, 313 p.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT AUTHORS

- Abdrakhmanov, A.B.** — Master student, National Research Tomsk polytechnic University, Russia.
- Afanasyev, D.A.** — PhD, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Aikeyeva, A.A.** — Associate professor, Candidate of technical sciences, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Aitymov, Zh.K.** — Master student, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Aralbayeva, G.M.** — Doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.
- Arinova, E.T.** — Master of physics, Teacher, Gymnasium № 1, Karaganda, Kazakhstan.
- Ayubekova, A.E.** — Student, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Baizhanova, A.R.** — Master student, Karaganda State Technical University, Kazakhstan.
- Beysenbek, A.Zh.** — Master student, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Beybitova, A.Z.** — Master student, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Blyalova, G.G.** — Master student, Karaganda State Technical University, Kazakhstan.
- Chirkova, L.V.** — Candidate of technical sciences, Docent, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Dzhanabekova, R.H.** — Master student, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Ibrayev, N.Kh.** — Professor, Doctor of physical and mathematical sciences, Director of the Institute of molecular nanophotonics, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Ilina, L.F.** — Candidate of physical and mathematical sciences, Docent, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Ilyassov, B.R.** — Junior Researcher of Laboratory of Solar Energy, PI NLA, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan.
- Ispulov, N.A.** — Candidate of physical and mathematical sciences, Associate professor, S. Toraighyrov Pavlodar State University, Kazakhstan.
- Karabekova, D.Zh.** — Senior Lecturer, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Kazankap, B.I.** — Master student, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Khassenov, A.K.** — PhD, Assistant professor, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Kovel, T.S.** — Student, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Kudussov, A.S.** — Candidate of physical and mathematical sciences, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Kuralbayeva, Zh.Sh.** — Master of education sciences, Trainer of the British Council, Teacher of physics SGC Daryn.
- Kurytnik, I.P.** — Doctor of technical sciences, Professor of the University of Bielsko-Byalla, Poland.
- Mahanov, K.M.** — Candidate of physical and mathematical sciences, Docent, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Maussymbayeva, A.D.** — Candidate of technical sciences, Chief lecturer, Karaganda State Technical University, Kazakhstan.
- Mukhtarova, P.A.** — Assistant, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.

- Novikova, L.K.** — Candidate of technical sciences, Chief lecturer, Karaganda State Technical University, Kazakhstan.
- Nurgozhina, M.M.** — Master student, S. Toraihyrov Pavlodar State University, Kazakhstan.
- Nussupbekov, B.R.** — Candidate of technical sciences, Associate professor, Dean, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- O'Connell, J.H.** — Microscope engineer-Center for high resolution transmission electron microscopy, Nelson Mandela Metropolitan University, Port Elizabeth, South Africa.
- Omirebek, A.** — Master student, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Ospanov, A.E.** — Student, Karaganda State Technical University, Kazakhstan.
- Portnov, V.S.** — Doctor of technical sciences, Professor, Karaganda State Technical University, Kazakhstan.
- Reva, N.V.** — Doctor of technical sciences, Professor, Taras Shevchenko Kiev National University, Ukraine.
- Rogovaya, X.S.** — Master, Teacher, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Saifulin, M.M.** — Engineer, G.N. Flerov Laboratory of nuclear reactions, Joint Institute for nuclear Research, Dubna, Russia, Postgraduate-National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russia.
- Seliverstova, E.V.** — Senior lecturer, Doctor PhD, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Skubnevsky, E.B.** — Candidate of physical and mathematical sciences, Institute of Semiconductor Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.
- Skuratov, V.A.** — Head of sector of G.N. Flerov Laboratory of nuclear reactions, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia.
- Stoev, M.** — Associate professor, PhD, Doctor engineering Southwestern University «Neophyte Rilski», Blagoevgrad, Bulgaria.
- Tanskozhanova, A.R.** — Master student, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Van Vuuren, A.J.** — Microscope scientist-Center for high resolution transmission electron microscopy, Nelson Mandela Metropolitan University, Port Elizabeth, South Africa.
- Vyzhva, S.A.** — Doctor of technical sciences, Professor, Taras Shevchenko Kiev National University, Ukraine.
- Yermaganbetov, K.T.** — Candidate of physical and mathematical sciences, Docent, Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Yurov, V.M.** — Candidate of physical and mathematical sciences, Docent, Scientific research center «Ion-plasma technologies and modern instrument making», Ye.A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.
- Zhumabekov, A.Zh.** — Teacher, S. Toraihyrov Pavlodar State University, Kazakhstan.