

ISSN 2410-4221
2026/№3(37)

ПАЁМИ

ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА

Бахши илмҳои табиӣ
2026. № 3 (37)

ВЕСТНИК

**ДАНГАРИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Серия естественных наук
2026. № 3 (37)

BULLETIN

OF DANGARA STATE UNIVERSITY

Series of natural science
2026. № 3 (37)

www.vestnik.dsu.tj

№ 3 (37)

Данғара – 2026

**ПАЁМИ ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА
БАХШИ ИЛМҲОИ ТАБИЙ**

*Маҷалла соли 2015 таъсис ёфта, дар як сол 4 шумора ба наиш расонда мешавад.
ISSN 2410-4221*

Сармухәррири маҷалла:

Хайрзода Ш.Қ. – доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор,
ректори МДТ Донишгоҳи давлатии Данғара.

Муовини сармухәррир:

Олимзода Р.А. – номзади илмҳои химия, дотсент, муовини ректор
оид ба илми Донишгоҳи давлатии Данғара.

Муҳаррири техникӣ:

Садриддинзода С.С. – номзади илмҳои техникӣ, дотсент, Донишгоҳи давлатии Данғара.

Муассиси маҷалла:

*МДТ Донишгоҳи
давлатии Данғара*

*Маҷалла дар шохиси иқтибосҳои
илми Русия (РИНЦ)
таҳти рақами №221-07/2021
ворид карда шудааст.*

*Маҷалла дар Вазорати фарҳанги
Ҷумҳурии Тоҷикистон № 215/МҚ-97
аз 20 августи соли 2021 ба қайд
гирифта шудааст*

*Маҷалла бо забонҳои тоҷикӣ, русӣ
ва англисӣ наиш мегардад.*

*Матни нурраи маводи ҷопшуда дар
сомонаи расмӣ маҷалла
(vestnik.dsu.tj) ҷойгир карда
шудааст.*

*Дар маҷалла мақолаҳои илми соҳаҳои
илмҳои зерин наиш карда мешаванд:*

01.01.00 – Математика,

01.04.00 – Физика,

02.00.00 – Химия.

Сомонаи маҷалла: vestnik.dsu.tj

Е-mail: vestnik@dsu.tj

Тел: (833 12)22802

*Паёми Донишгоҳи давлатии
Данғара – 2026. № 3 (37).*



Ҳайати таҳририя:

01.01.00 – Математика

Раҷабова Лутфия – доктори илмҳои физика –
математика, профессор (ДМТ);

Одинаев Раим Назарович – доктори илмҳои физика –
математика, профессор (ДМТ);

Мирзоев Сайяло Ҳабибуллоевич – доктори илмҳои
техникӣ, профессор (ДМТ);

Пиров Ҳайдарҷон Ҳокимҷонович – номзади илҳои
физика-математика (ДДД).

01.04.00 – Физика

Солихзода Давлат Қуват – доктори илмҳои физика-
математика, профессор (ДМТ);

Махсудов Барот Исмолович – доктори илмҳои физика-
математика, профессор (ДМТ);

Ҷўраев Ҳайрулло Шарофович – доктори илмҳои
физика-математика (ДМТ);

Ақдонов Донаёр Мавлобахшович – доктори илмҳои
физика-математика, профессор (ДМТ);

Ҳочазода Тохир Абдулло – доктори илмҳои физика-
математика (ДМТ);

Олимӣ Ашуралӣ Рамазон – н.и.ф.-м., доктори илмҳои
педагогӣ (ДДД);

02.00.00 – Химия

Атрошенко Юрий Михайлович – доктори илмҳои
химия, профессор (ДДПТ ба номи Л.Н. Толстой,
Тула, Россия);

Шахкельдян Ирина Владимировна – доктори илмҳои
химия, профессор (ДДПТ ба номи Л.Н. Толстой,
Тула, Россия);

Каримзода Маҳмадқул Бобо – доктори илмҳои химия,
профессор (ДМТ);

Бандаев Сирочиддин Гадоевич – доктори илмҳои
химия, профессор (ДДОТ ба номи С. Айни);

Ғафуров Бобомурод Абдуқаҳорович – доктори илмҳои
химия, профессор (ДДБ ба номи Н. Хусрав, Бохтар);

Раҷабзода Сирочиддин Иқром – доктори илмҳои
химия, профессор (ДМТ);

Исозода Диловар Тариқ – н.и.х., доктори илмҳои
техникӣ, дотсент (ДЭТ, Бохтар);

Мухторов Лоик Гургович – номзади илмҳои
химия, дотсент (ДДПТ ба номи Л.Н. Толстой,
Тула, Россия);

Раҷабов Сайдалӣ – номзади илмҳои химия (ДДД).

**ВЕСТНИК ДАНГАРИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
СЕРИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Журнал основан в 2015 году, выпускается 4 номера в год.

ISSN 2410-4221

Главный редактор

Хайрзода Ш.К. – доктор экономических наук, профессор,
ректор ГОУ Дангаринского государственного университета.

Зам.глав. редактора

Олимзода Р.А. – кандидат химических наук, доцент, проректор по науке
Дангаринского государственного университета.

Технический редактор:

Садриддинзода С.С. – кандидат технических наук, доцент, Дангаринский государственный университет.

Учредитель журнала:

*ГОУ Дангаринский
государственный университет*

*Журнал включен в базу данных
Российского индекса научных
цитирований (РИНЦ)
(№221-07/2021)*

*Журнал зарегистрирован в
Министерстве культуры
Республики Таджикистан
Свидетельство № 215/МЧ-97
от 20 августа 2021 года*

*Журнал издается на таджикском,
русском и английском языках.*

*Полный текст опубликованного
материала доступен на официальном
сайте журнала (vestnik.dsu.tj)*

*В журнале печатаются научные
статьи по следующим отраслям:*

**01.01.00 – Математика,
01.04.00 – Физика,
02.00.00 – Химия.**

*Сайт журнала: vestnik.dsu.tj
E-mail: vestnik@dsu.tj
Тел: (833 12) 22802*

*Вестник Дангаринского
государственного
университета – 2026. № 3 (37).*



Члены редколлегии:

01.01.00 – Математика

Раджабова Лутфия – доктор физико-математических наук, профессор, (ТНУ);

Одинаев Раим Назарович – доктор физико-математических наук, профессор, (ТНУ);

Мирзоев Саяъло Хабибуллоевич – доктор технических наук, профессор, (ТНУ);

Пиров Хайдаржон Хокимжонович – кандидат физико-математических наук, (ДГУ).

01.04.00 – Физика

Солихзода Давлат Куват – доктор физико-математических наук, профессор (ТНУ);

Махсудов Барот Исламович – доктор физико-математических наук, профессор (ТНУ);

Джураев Хайрулло Шарофович – доктор физико-математических наук (ТНУ);

Акдодов Донаёр Мавлобахшович – доктор физико-математических наук, профессор (ТНУ);

Ходжазода Тахир Абдулла – доктор физико-математических наук (ТНУ);

Олими Ашурали Рамазан – к.ф.-м.н., доктор педагогических наук (ДГУ);

02.00.00 – Химия

Атрощенко Юрий Михайлович – доктор химических наук, профессор (ТГПУ им. Л.Н. Толстого, Тула, Россия);

Шаккельдян Ирина Владимировна – доктор химических наук, профессор (ТГПУ им. Л.Н. Толстого, Тула, Россия);

Каримзода Махмадкул Бобо – доктор химических наук, профессор (ТНУ);

Бандаев Сироджиддин Гадоевич – доктор химических наук, профессор (ТГПУ им. С. Айни);

Гафуров Бобомурод Абдукахорович – доктор химических наук, профессор (БГУ им. Н. Хусрава, г. Бохтар);

Раджабзода Сироджиддин Икром – доктор химических наук, профессор (ТНУ);

Исозода Диловар Тарик – к.х.н., доктор технических наук, доцент (ТЭИ, Бохтар);

Мухторов Лоик Гургевич, кандидат химических наук, доцент (ТГПУ им. Л.Н. Толстого, Тула, Россия);

Раджабов Саидали – кандидат химических наук (ДГУ).

BULLETIN OF DANGARA STATE UNIVERSITY
SERIES OF NATURAL SCIENCES
The magazine was founded in 2015 and issues 4 number in year.
ISSN 2410-4221

Chief Editor:

Khayrzoda Sh.K. – Doctor of Economic Sciences, Professor, rector of SEI Dangara State University.

Deputy Head editor:

Olimzoda R.A. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research at Dangara State University.

Technical editor:

Sadriddinzoda S.S. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dangara State University.

Journal founder:

SEI Dangara State University

*The journal is included in the
Database of the Russian Science Citation
Index (RSCI) № 221-07/2021*

*The magazine is registered
with the Ministry of Culture
of the Republic of Tajikistan
Certificate No. 215/MQ-97
dated August 20, 2021.*

*The magazine is printed in Tajik,
Russian and English languages*

*The full text of the published materials
are available on the official website of
the journal (vestnik.dsu.tj).*

*The magazine publishes scientific articles
in the following areas:*

01.01.00 – Mathem atical,

01.04.00 – Physical,

02.00.00 – Chemistry.

Journal website: vestnik.dsu.tj

Email: vestnik@dsu.tj

Tel: (833 12) 22802

*Bulletin of Dangara State University
- 2026. No. 3. (37).*



Member of the Editorial Board:

01.01.00 - Mathematics

Rajabova Lutfiya – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, (TNU);

Odinaev Raim Nazarovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, (TNU);

Mirzoev Sayalo Habibulloevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, (TNU);

Pirov Haydarjon Hokimjonovich – Candidate of physical and mathematical sciences, (DSU).

01.04.00 - Physics

Solihzoda Davlat Kuvat – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (TNU);

Makhsudov Barot Islomovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (TNU);

Juraev Khairullo Sharofovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences (TNU);

Akdodov Donayor Mavlobakhshovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (TNU);

Khojzoda Tohir Abdullo – Doctor of Physical and Mathematical Sciences (TNU);

Olimi Ashurali Ramazon – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences (DSU).

02.00.00 – Chemistry

Atroshchenko Yuri Mikhailovich – Doctor of Chemical Sciences, Professor (TSPU, Tula, Russia);

Irina Vladimirovna Shakkeldyan – Doctor of Chemical Sciences, Professor (TSPU, Tula, Russia);

Karimzoda Mahmadvul Bobo – Doctor of Chemical Sciences, Professor (TNU);

Bandaev Sirojiddin Gadoevich – Doctor of Chemical Sciences, Professor (TSPU named after S. Aini);

Gafurov Bobomurod Abdukakhorovich – Doctor of Chemical Sciences, Professor (BSU named after N. Khusrav, Bokhtar);

Rajabzoda Sirojiddin Ikrom – Doctor of Chemical Sciences, Professor (TNU);

Isodzoda Dilovar Tariq – Candidate of Chemical Sciences, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (TEI, Bokhtar);

Mukhtorov Loik Gurgovich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor (TSPU, Tula, Russia);

Rajabov Saydali – Candidate of Chemical Sciences (DSU).

**МОДЕЛСОЗИИ МАТЕМАТИКИИ КОМПЮТЕРӢ ДАР РАВАНДИ
ҲАЛЛИ СИСТЕМАИ МУОДИЛАҲОИ НИШОНДИҲАНДАӢ**

Шарофиддин Юсуфӣ, *Восидов Ш.Ю., **Умаров А.Н.

Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав

***Донишгоҳи миллии Тоҷикистон**

****Донишгоҳи давлатии Данғара**

Моделсозии математикии компютерӣ дар раванди ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ мавқеи назаррасро ишғол менамояд, ки чунин раванд аз истифодабаранда маҳорати эҷодиро талаб намуда, дар ин ҷо он намуди (типи, навъи) ҳалли мисолу масъалаҳои додашудаи таълимӣ, ки барои мутахассисони касбии ихтисосҳои математика муҳим арзёбӣ мегарданд, бо истифода аз усулҳои моделсозӣ муоина кардан имконпазир аст.

Моделсозии математикии системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ дар муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ яке мавзӯҳои муҳим ва актуалӣ ба ҳисоб меравад. Ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагиро дар муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ бо истифода аз усулҳои моделсозӣ, яъне, бо воситаҳои айёни нишон додан афзалиятҳои бештарро фароҳам меоварад. Ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ бо истифода аз усулҳои омӯзиши моделсозии математикии компютерӣ аз рӯйи алгоритм амалӣ карда мешавад.

Моделсозии математикии компютерӣ дар раванди ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ яке аз самтҳои асосии афзалиятноки фаъолсозии инкишофдиҳандаи тафаккури эҷодӣ ба ҳисоб меравад. Яъне, ҳангоми ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ, ки натиҷаи ҳалли он бо усули математикӣ ва бо ёрии модел нишон дода мешавад ба инкишофёбии интелектуалии (зеҳнӣ, ақлонӣ) шахс таъсиррасон гардида, ба фаъолияти минбаъдаи онҳо таъсиррасон мегардад. Дар замони муосир забонҳои барномасозии савияи баланди компютерӣ зиёде пайдо шуда истодаанд, ки барои чунин раванди фаъолияти шахс шароитҳои беназир фароҳам меоваранд.

Қайд кардан бомаврид аст, ки дар баробари пайдошавии забонҳои барномасозии савияи баланди компютерӣ талаботи дигаргунсозии раванди таълими математика, геометрия ва физика ва ғайраҳоро дар муассисаҳои олӣ як

сиссила мафҳумҳои ба ҳам алоқамандро, аз ҷумла саҳаҳои моделсозии математикии компютери ба миён гузошт.

Дар ин ҷода яке аз олимони варзидаи тоҷик Нугмонов М. чунин қайд менамояд: *«Дар методикаи математика ба воситаҳои таълим бештар воситаҳои айёни, воситаҳои техникии таълим, маводи дидактикӣ ва ғайраро мансуб медонанд. Дар замони муосир воситаҳои таълим ба кулӣ тағйир ёфтанд. Бо пайдоиши компютерҳои фардӣ раванди нави таълим – таълими проблемавӣ – таълими проблемавию компютерӣ ба миён омад. Амалкарди элементии нав (компютер) дар системаи методи таълими математика метавонад қисми зиёди функсияи таълимро тағйир диҳад ва имконият диҳад равиши нави методиро барқарор намоем»* [1, саҳ. 31].

Ақидаҳои олими варзидаи тоҷик Нугмонов М. – ро муоина намуда, усулҳои ҳалли яке аз мавзӯҳои фанни математика, системаи муодилаҳои нишондиҳандагиро бо истифода аз моделсозии математикии компютерӣ дар раванди таълим мавриди омӯзиш қарор додаем.

«Ба ҳамагон маълум аст, ки дар замони муосир бо пешрафти илму техника, бо пайдошавии забонҳои барномасозии савияи баланд моделсозии илмҳои дақиқ рушд карда истодааст» [2, саҳ. 72].

«Бинобар он зарур мешуморем, ки дар ҷомеаи муосир шахсе, ки мустақил ва эҷодӣ фикр мекунад, қодир ба дарк ва ҳалли проблемаҳо мебошад. Ҷамъияти технологияи иттилоотӣ манфиатдор аст, ки хатмкунандагони муассисаҳои таълимӣ тавонанд мустақилона, фаъолона қарор қабул кунанд, ба тағйирёбии шароити зиндагӣ мутобиқ шаванд ва аз иттилоот оқилона истифода намоянд» [3, саҳ. 258].

Акнун мисолҳои намунавиро доир ба раванди ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ бо истифода аз усулҳои моделсозии математикии компютерӣ ҳамчун намуна баррасӣ менамоем.

«Тарзи ёфтани системаи нишондиҳандагӣ ҳалли муодилаи нишондиҳандагиро менамояд. Чун пештара аз хосиятҳои функсияи нишондиҳандагӣ ва аз баробарӣҳое, ки бо онҳо хосияти асосии дараҷа ифода меёбанд, истифода карда, системаи нишондиҳандагиро ба системаи ба он баробарқувваи алгебравӣ иваз мекунем. Ҳал кардани ин система боқӣ менамояд. Дар ин ҷо мо ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагиро ҳам ба таври математикӣ ва ҳам бо истифода аз методҳои моделсозии математикӣ нишон медиҳем» [4, саҳ. 68-69]:

Мисоли №1. Ҳалли системаи муодилаи нишондиҳандагии зеринро бо таври математикӣ муоина менамоем:

$$\begin{cases} 3^{x+y} = 9, \\ 3^{3x-2y-1} = 1. \end{cases}$$

Баробариҳои $9 = 3^2$ ва $1 = 3^0$ – ро ба эътибор гирифта системаро ба таври системаи алгебравии намуди зерин

$$\begin{cases} x + y = 2, \\ 3x - 2y - 1 = 0. \end{cases}$$

иваз мекунем. Ин системаро ба тарзи гузориш ҳал мекунем. Аз муодилаи якум $x = 2 - y$. Инро дар муодилаи дуввум мегузорем, он гоҳ чунин муодила ҳосил мегардад:

$$3(2 - y) - 2y - 1 = 0; \quad 6 - 3y - 2y - 1 = 0;$$

$$-3y - 2y - 1 + 6 = 0; \quad -5y + 5 = 0 \quad (-1*);$$

$$5y - 5 = 0; \quad 5y = 5; \quad y = \frac{5}{5}; \quad y = 1.$$

Аз ин ҷо $y = 1$. Акнун ба ҷойи y қимати он, яъне, 1-ро мегузорем.

Пас: $x = 2 - y \rightarrow 2 - 1 = 1; \quad x = 1$. Ҷавоб: (1; 1).

Исботи онро бо санҷиш баррасӣ мекунем.

$$\begin{cases} 3^{x+y} = 9, \\ 3^{3x-2y-1} = 1. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3^{1+1} = 9, \\ 3^{3*1-2*1-1} = 1. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3^2 = 9, \\ 3^{3-2-1} = 1. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3^2 = 9, \\ 3^0 = 1. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 9 = 9, \\ 1 = 1. \end{cases}$$

Акнун системаи муодилаи нишондихандагии зеринро бо истифода аз методҳои моделсозии математикӣ муоина менамоем:

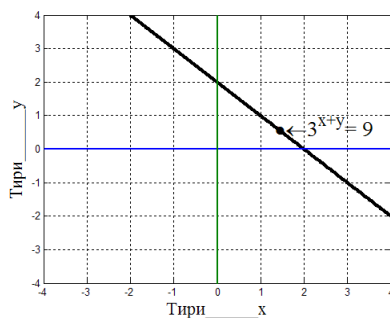
$$\begin{cases} 3^{x+y} = 9, \\ 3^{3x-2y-1} = 1. \end{cases}$$

Аз методҳои моделсозии математикии компютерӣ истифода бурда, модели математикии графיקии системаи муодилаи нишондихандагии додашударо пай дар пай тасвир менамоем. Сараввал модели математикии графיקии муодилаи якуми намуди зерини $3^{x+y} = 9$ – ро тасвир менамоем, ки он дар зер нишон дода шудааст.

Модели компютер: Масъаларо бо намуди алгоритми зерин пешниҳод менамоем:

```
f1=ezplot('3.^(x+y)=9',[-4 4 -4 4]);hold on;set(f1,'color','k');
hold on;set(f1,'LineWidth',3.001);grid on;
line([-4,0;4,0],[0,4;0,-4],'LineWidth',1.61);hold on;
text(1.34,.25*exp(1),'\bullet\leftarrow\fontname{times}\{3\}^{\{x+y\}}=
9','FontSize',20.002, 'color','k');
xlabel('Тири_____x','fontsize',16,'FontName','Times New Roman', 'Color','k');
ylabel('Тири_____y','fontsize',16,'FontName','Times New Roman', 'Color','k');
```

Натиҷаи коркарди ин барнома дар расми 1 оварда шудааст



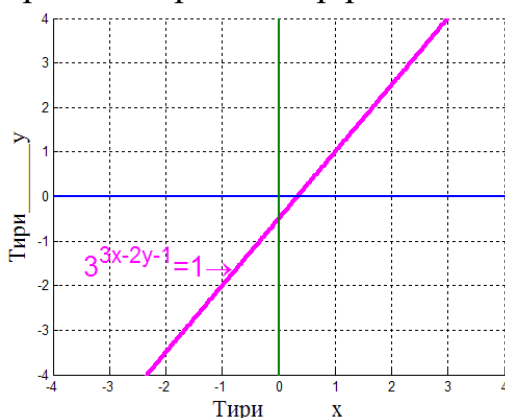
Расми 1. Графики муодилаи $3^{x+y} = 9$

Баъд аз он модели математикии графикии муодилаи зерин $3^{3x-2y-1} = 1$ – ро тасвир менамоем.

Модели компютер: Масъаларо бо намуди алгоритми зерин пешниҳод менамоем:

```
hold on; f2= ezplot('3.^(3*x-2*y-1)=1',[-4 4 -44]);
hold on;set(f2,'color','m');hold on;
set(f2,'LineWidth',3.002);grid on;line([-4,0;4,0],[0,4;0,-4],'LineWidth',1.61);
text(-0.8,-1.5,'{3}^{3x-2y-1}=1\rightarrow','HorizontalAlignment','right','FontSize',20.002,'color','m');
xlabel('Тири_____x','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');
ylabel('Тири_____y','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');
```

Натиҷаи коркарди ин барнома дар расми 2 оварда шудааст



Расми 2. Графики муодилаи $3^{3x-2y-1} = 1$

Акнун барои ёфтани нуқтаи буриш графики ҳарду муодилаи дар системаи додашуда $3^{x+y} = 9$ ва $3^{3x-2y-1} = 1$ – ро дар як равшана тасвир кардан лозим меояд. Нуқтаҳои буриши системаи муодилаҳои додашуда ҷавоби масъала ҳисобида мешаванд, ки онҳо дар расми 3 тасвир карда шудаанд.

Модели компютер: Масъаларо бо намуди алгоритми зерин пешниҳод менамоем:

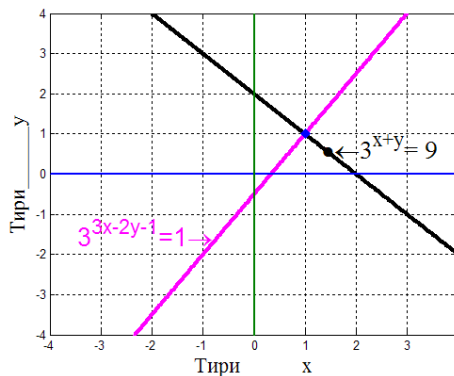
```
f1=ezplot('3.^(x+y)=9',[-4 4 -4 4]);hold on;set(f1,'color','k');hold on;
set(f1,'LineWidth',3.001);grid on;line([-4,0;4,0],[0,4;0,-4],'LineWidth',1.61);hold on;
text(1.34,.25*exp(1),'\bullet\leftarrow\fontname{times}{3}^{x+y}=9','FontSize',20.002,'color','k'); hold on; hold on;
f2= ezplot('3.^(3*x-2*y-1)=1',[-4 4 -44]); hold on;set(f2,'color','m');hold on;
```

```

set(f2,'LineWidth',3.002);grid on;line([-4,0;4,0],[0,4;0,-4],'LineWidth',1.61);
text(-0.8,-1.5,'{3}^{{3x-2y-1}}=1\rightarrow','HorizontalAlignment','right','FontSize',20.002,'color','m');
hold on;x=1;y=1;hold on;plot(x,y,'*', 'lineWidth',2.5); hold on;
xlabel('Тири_____x','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');
ylabel('Тири_____y','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');

```

Натиҷаи коркарди ин барнома дар расми 3 оварда шудааст



Расми 3. Графики муодилаҳои $3^{x+y} = 9$ ва $3^{3x-2y-1} = 1$.

Аз расми 3 айён аст, ки x ва y нуктаҳои 1 ва 1, яъне дар як нукта меҳобанд. Пас $x = 1$; $y = 1$. Ҷавоб: (1; 1).

Мисоли №2. Ҳалли системаи муодилаи нишондиҳандагии зеринро бо таври метематикӣ муоина менамоем:

$$\begin{cases} 3^{x+y} = 81, \\ 3^{3x-2y-1} = 3. \end{cases}$$

Баробариҳои $81 = 3^4$ ва $3 = 3^1$ – ро ба эътибор гирифта, системаро ба таври системаи алгебравии намуди зерин

$$\begin{cases} x + y = 4, \\ 3x - 2y - 1 = 1. \end{cases}$$

иваз мекунем. Ин системаро ба тарзи гузориш ҳал мекунем. Аз муодилаи якум $x = 4 - y$. Инро дар муодилаи дуввум мегузорем, он гоҳ чунин муодила ҳосил мегардад:

$$3(4 - y) - 2y - 1 = 1; 12 - 3y - 2y - 1 = 1; -3y - 2y - 1 + 12 - 1 = 0; -5y + 10 = 0 \quad (-1*); \quad 5y - 10 = 0; \quad 5y = 10; \quad y = \frac{10}{5}; \quad y = 2.$$

Аз ин ҷо $y = 2$. Акнун ба ҷойи y қимати он, яъне, 2-ро мегузорем.

Пас: $x = 4 - y \rightarrow 4 - 2 = 2$; $x = 2$. Ҷавоб: (2; 2).

Исботи онро бо санҷиш баррасӣ мекунем.

$$\begin{cases} 3^{x+y} = 81, \\ 3^{3x-2y-1} = 3. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3^{2+2} = 81, \\ 3^{3*2-2*2-1} = 3. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3^4 = 81, \\ 3^{6-4-1} = 3. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3^4 = 81, \\ 3^1 = 3. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 81 = 81, \\ 3 = 3. \end{cases}$$

Акнун системаи муодилаи нишондиҳандагии зеринро бо истифода аз методҳои моделсозии метематикӣ муоина менамоем:

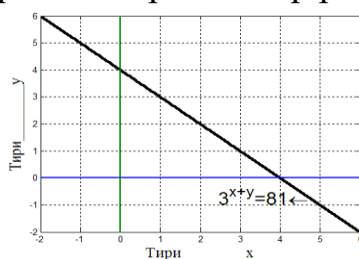
$$\begin{cases} 3^{x+y} = 81, \\ 3^{3x-2y-1} = 3. \end{cases}$$

Аз методҳои моделсозии математикии компютерӣ истифода бурда, модели математикии графикаи системаи муодилаи нишондиҳандагии додашударо пай дар пай тасвир менамоем. Сараввал модели математикии графикаи муодилаи якуми намуди зерини $3^{x+y} = 81$ – ро тасвир менамоем, ки он дар зер нишон дода шудааст.

Модели компютер: Масъаларо бо намуди алгоритми зерин пешниҳод менамоем:

```
f1=ezplot('3.^(x+y)=81',[-2 6 -2 6]);hold on;set(f1,'color','k');hold on;
set(f1,'LineWidth',3);grid on;line([-2,0;6,0],[0,-2;0,6],'LineWidth',1.61);hold on;
text(4.7,-
0.7,'{3}^{x+y}=81\leftarrow','HorizontalAlignment','right','FontSize',20,'color','k');
xlabel('Тири_____x','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');
ylabel('Тири_____y','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');
```

Натиҷаи коркарди ин барнома дар расми 4 оварда шудааст



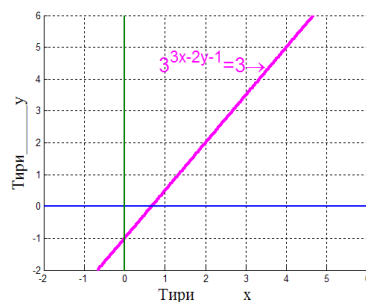
Расми 4. Графики муодилаи $3^{x+y} = 81$

Баъд аз он модели математикии графикаи муодилаи зерин $3^{3x-2y-1} = 3$ – ро тасвир менамоем.

Модели компютер: Масъаларо бо намуди алгоритми зерин пешниҳод менамоем:

```
hold on; f2= ezplot('3.^(3*x-2*y-1)=3',[-2 6 -2 6]);hold on;set(f2,'color','m');hold on;
set(f2,'LineWidth',3.01);grid on;line([-2,0;6,0],[0,-2;0,6],'LineWidth',1.61);
text(3.5,4.5,'{3}^{3x-2y-1}=3\rightarrow','HorizontalAlignment','right','FontSize',20,'color','m');
xlabel('Тири_____x','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');
ylabel('Тири_____y','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');
```

Натиҷаи коркарди ин барнома дар расми 5 оварда шудааст



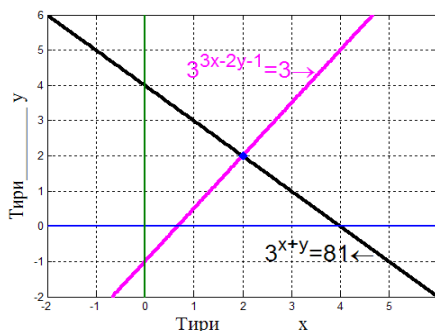
Расми 5. Графики муодилаи $3^{3x-2y-1} = 3$

Акнун барои ёфтани нуқтаи буриш графики ҳарду муодилаи дар системаи додашуда $3^{x+y} = 81$ ва $3^{3x-2y-1} = 3$ – ро дар як равшана тасвир кардан лозим меояд. Нуқтаҳои буриши системаи муодилаҳои додашуда ҷавоби масъала ҳисобида мешаванд, ки онҳо дар расми 6 тасвир карда шудаанд.

Моделӣ компютер: Масъаларо бо намуди алгоритми зерин пешниҳод менамоем:

```
f1=ezplot('3.^(x+y)=81',[-2 6 -2 6]);hold on;set(f1,'color','k');hold on;
set(f1,'LineWidth',3);grid on; line([-2,0;6,0],[0,-2;0,6],'LineWidth',1.61);hold on;
text(4.7,-
0.7,'{3}^{x+y}=81\leftarrow','HorizontalAlignment','right','FontSize',20,'color','k');
hold on;f2= ezplot('3.^(3*x-2*y-1)=3',[-2 6 -2 6]);hold on;set(f2,'color','m');hold on;
set(f2,'LineWidth',3.01);grid on;line([-2,0;6,0],[0,-2;0,6],'LineWidth',1.61);
text(3.5,4.5,'{3}^{3x-2y-
1}=3\rightarrow','HorizontalAlignment','right','FontSize',20,'color','m');
hold on;x=2;y=2;hold on;plot(x,y,'*','lineWidth',2.6); hold on;
xlabel('Тири_____x','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');
ylabel('Тири_____y','fontsize',16,'FontName','Times New Roman','Color','k');
```

Натиҷаи коркарди ин барнома дар расми 6 оварда шудааст



Расми 6. Графики муодилаҳои $3^{x+y} = 81$ ва $3^{3x-2y-1} = 3$.

Аз расми 6 айён аст, ки x ва y нуқтаҳои 2 ва 2, яъне дар як нуқта меҳобанд. Пас $x = 2$; $y = 2$; Ҷавоб: (2; 2).

`syms u x`

`R=solve(' (4)^(x+y)=64 ',' (4)^(3*x-2*y-3)=4 ',x,y)`

`syms u x`

$$R=\text{solve}('x+y=3','3*x-2*y-3=1',x,y)$$

Мисоли №3. Ҳалли системаи муодилаи нишондиҳандагии зеринро бо таври математикӣ муоина менамоем:

$$\begin{cases} 4^{x+y} = 64, \\ 4^{3x-2y-3} = 4. \end{cases}$$

Баробариҳои $4 = 4^3$ ва $4 = 4^1$ – ро ба эътибор гирифта, системаро ба таври системаи алгебравии намуди зерин

$$\begin{cases} x + y = 3, \\ 3x - 2y - 3 = 1. \end{cases}$$

иваз мекунем. Ин системаро ба тарзи гузориш ҳал мекунем. Аз муодилаи якум $x = 3 - y$. Инро дар муодилаи дуввум мегузорем, он гоҳ чунин муодила ҳосил мегардад:

$$3(3 - y) - 2y - 3 = 1; 9 - 3y - 2y - 3 = 1; -3y - 2y - 3 + 9 - 1 = 0; -5y + 5 = 0; -5y = -5 (-1*); 5y = 5; y = \frac{5}{5}; y = 1.$$

Аз ин ҷо $y = 1$. Акнун ба ҷойи y қимати он, яъне, 1-ро мегузорем.

Пас: $x = 3 - y \rightarrow 3 - 1 = 2; x = 2$. Ҷавоб: (2; 1).

Исботи онро бо санҷиш баррасӣ мекунем.

$$\begin{cases} 4^{x+y} = 64, \\ 4^{3x-2y-3} = 4. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 4^{2+1} = 64, \\ 4^{3*2-2*1-3} = 4. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 4^3 = 64, \\ 4^{6-2-3} = 4. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 4^3 = 64, \\ 4^1 = 4. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 64 = 64, \\ 4 = 4. \end{cases}$$

Акнун системаи муодилаи нишондиҳандагии зеринро бо истифода аз методҳои моделсозии математикӣ муоина менамоем:

$$\begin{cases} 4^{x+y} = 64, \\ 4^{3x-2y-3} = 4. \end{cases}$$

Аз методҳои моделсозии математикии компютерӣ истифода бурда, модели математикии графikiи системаи муодилаи нишондиҳандагии додашударо тасвир менамоем. Акнун модели математикии графikiи системаи муодилаи додашударо тасвир менамоем, ки он дар зер нишон дода шудааст.

Яъне, барои ёфтани нуқтаи буриш графikiи ҳарду муодилаи дар системаи додашуда $4^{x+y} = 64$ ва $4^{3x-2y-3} = 4$ - ро дар як равшана тасвир кардан лозим меояд. Нуқтаҳои буриши системаи муодилаҳои додашуда ҷавоби ҳалли масъала ҳисобида мешаванд, ки онҳо дар расми 7 тасвир карда шудаанд.

Модели компютер: Масъаларо бо намуди алгоритми зерин пешниҳод менамоем:

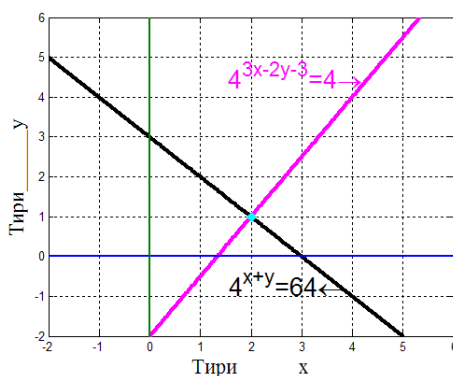
```
f1=ezplot('4.^(x+y)=64',[-2 6 -2 6]);hold on;set(f1,'color','k');hold on;
set(f1,'LineWidth',3);grid on;line([-2,0;6,0],[0,-2;0,6],'LineWidth',1.61);hold on;
text(3.81,-
0.7,'{4}^{x+y}=64\leftarrow','HorizontalAlignment','right','FontSize',20,'color','k');
hold on;f2=ezplot('4.^(3*x-2*y-3)=4',[-2 6 -2 6]);hold on;set(f2,'color','m');
hold on;
```

```

set(f2,'LineWidth',3.01);grid on;line([-2,0;6,0],[0,-2;0,6],'LineWidth',1.61);
text(4.2,4.5,'{4}^{3x-2y-3}=4\rightarrow','HorizontalAlignment','right','FontSize',20,'color','m');
hold on;x=2;y=1;hold on;plot(x,y,'*','lineWidth',2.6, 'Color','c'); hold on;
xlabel('Тири_____x','fontsize',16,'FontName','Times New Roman', 'Color','k');
ylabel('Тири_____y','fontsize',16,'FontName','Times New Roman', 'Color','k');

```

Натиҷаи коркарди ин барнома дар расми 7 оварда шудааст.



Расми 7. Графики системаи муодилаи $\begin{cases} 4^{x+y} = 64, \\ 4^{3x-2y-3} = 4. \end{cases}$

Аз расми 6 айён аст, ки x ва y нуқтаҳои 2 ва 2, яъне дар як нуқта меҳобанд. Пас $x = 2$; $y = 2$; Ҷавоб: (2; 2).

Роҳҳои моделсозии математикӣ дар шароити муосир умумиқабулшуда мебошад [5, с. 55].

Адабиёт

1. Нугмонов М., Сафаров С.С., Ҳамроев Ҳ., Фаёлияти омӯзгор ва хонанда дар омӯзиши электронии математика / М.Нугмонов, С.С. Сафаров, Ҳ. Ҳамроев // Проблемаҳои муосири математика ва тайёрии касбӣ – методии омӯзгори математика дар мактаби олии педагогӣ. Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ – амалӣ бахшида ба 70 – солагии номзади илмҳои физики ва математика, дотсент Норов Қурбонбой. Таҳти назари узви вобастаи АТТ М. Нугмонов. – Душанбе: ДДОТ ба номи С Айни, 2018. – 206 с. – с.31-35.
2. Восидов Ш.Ю., Нугмонов М., Ҷӯраев Х.Ш. Моделсозии математикии масъалаҳои геометрӣ барои донишҷӯёни муассисаҳои таҳсилоти олӣ [Матн] / Ш.Ю. Восидов, М. Нугмонов, Х.Ш. Ҷӯраев // Маводи конференсияи ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Масъалаҳои мубрами илму маориф дар шароити ҷаҳонишавӣ». бахшида ба 75 – солагии Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи

Абӯабдуллоҳи Рӯдакӣ ва 30 солагии Истиқлолияти Ҷумҳурии Тоҷикистон (Қисми 1). - 2020. –С.71-74.

3. *Сатторов А.Э., Шарофиддин Ю.* Дар бораи рушди фаъолияти зеҳнӣ – эҷодии хонандагон ҳангоми таълими математика / *А.Э. Сатторов., Ю. Шарофиддин* // Маводи конференсияи дуҷуми байналмилалӣ илмӣ – амалӣ «Проблемаҳои муосири таҳсилоти математикӣ, физикӣ ва информатикӣ дар мактабҳои миёнаи олии (баҳшида ба 70 – солагии *М. Нугмонов*). – Душанбе «Алвон», 2019. – 498с. – с.256 – 259.
4. *Боймурод Алиев.* Алгебра. Китоби дарсӣ барои синфи 11. «Собириён». Душанбе – 2006. 186 саҳ.
5. *Ҷӯраев Х.Ш.* Физикаи муҳитҳои конденсӣ (Дастурӣ таълимӣ). – Душанбе: - 2023. – 112с.

МОДЕЛСОЗИИ МАТЕМАТИКИИ КОМПЮТЕРӢ ДАР ҲАЛЛИ СИСТЕМАИ МУОДИЛАҲОИ НИШОНДИҲАНДАӢ

Фишурда. Дар мақолаи додашуда омӯзиши моделсозии математикии компютерӣ дар ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ баррасӣ карда шудааст, ки ба муҳандисон ва тадқиқотчиёни илмӣ имконият фароҳам меоварад, ки мустақилона қобилияти фикрронии эҷодии худро сайқал диҳад ва раванди ҳалли масъалаҳоро дарк намояд. Истифодабарии моделсозии математикии компютерӣ дар раванди ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ дар муассисаҳои таҳсилоти олии яке мавзӯҳои актуалӣ ва мубрам ҳисобида мешавад. Ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагиро дар муассисаҳои таҳсилоти олии бо истифода аз усулҳои моделсозӣ, яъне бо воситаҳои айёни нишон додан афзалиятҳои бештарро фароҳам меоварад. Дар ин мақола ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ бо истифода аз моделсозии математикии компютерӣ аз рӯи алгоритм ҳалли масъала иҷро карда шуда, натиҷагирии он ба таври графикӣ дар муҳити барномаи MATLAB муоина шудааст.

Калидвожаҳо: модел, моделсозӣ, система, муодила, компютер, технологияи иттилоотӣ, алгоритм, забони барномасозӣ, график.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Аннотация. В данной статье рассматривается изучение компьютерного математического моделирования при решении системы показательных уравнений, что дает возможность инженерам и научным исследователям самостоятельно оттачивать свои творческие мыслительные способности и понимать процесс решения задач. Применение компьютерного

математического моделирования в процессе решения системы показательных уравнений в высших учебных заведениях считается одной из актуальных и актуальных тем. Решение системы уравнений показателей в высших учебных заведениях с использованием методов моделирования, т. е. визуального отображения с помощью наглядных пособий, дает больше преимуществ. В данной статье решение системы показательных уравнений с использованием компьютерного математического моделирования по алгоритму было выполнено для решения задачи, а ее результат графически исследован в среде программы MATLAB.

Ключевые слова: модель, моделирование, система, уравнение, компьютер, информационные технологии, алгоритм, язык программирования, график.

COMPUTER MATHEMATICAL MODELING IN SOLVING A SYSTEM OF EXPONENTIAL EQUATIONS

Annotation. This article examines the study of computer mathematical modeling in solving a system of exponential equations, which enables engineers and researchers to independently hone their creative thinking skills and understand the problem-solving process. The use of computer mathematical modeling in the process of solving a system of exponential equations in higher education institutions is considered one of the relevant and relevant topics. Solving the system of equations of indicators in higher education institutions using modeling methods, i.e. visual display using visual aids, provides more advantages. In this article, the solution of a system of exponential equations using computer mathematical modeling using an algorithm was performed to solve the problem, and its result was graphically studied in the MATLAB environment.

Keywords: model, modeling, system, equation, computer, information technology, algorithm, programming language, graphic.

Маълумот оиди муаллифон: *Шарофиддин Юсуфӣ* - ассистенти кафедраи “Методикаи таълими математика (МТМ)”, Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав. Суроға: 735140, Ҷумҳурии Тоҷикистон, Бохтар, хиёбони Айнӣ, 67. Тел.: (+992) 919127413. E-mail: sharofiddinnnn@mail.ru

Восидов Шамсиддин Юсуфович – н.и.п., дотсенти кафедраи “Мошинҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳо”, Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Тел.: (+992) 917 23 29 18. E-mail: shamsiddinnnn@mail.ru.

Умаров А.Н. – н.и.т., дотсенти кафедраи информатика ва телекоммуникасияи Донишгоҳи давлатии Данғара. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, Данғара, кӯч.Марказӣ 25. Тел.: (+992) 887-77-77-16. E-mail: anvarrr.1994@gmail.com.

Сведения об авторах: *Шарофиддин Юсуфи* – ассистент кафедры методики преподавания математики (МПМ), Бохтарский государственный университет имени Носира

Хусрава. Адрес: 735140, Республика Таджикистан, г. Бохтар, пр. Айн, 67. Тел.: (+992) 919127413. E-mail: sharofiddinnnn@mail.ru.

Восидов Шамсиддин Юсуфович – к.п.н., дотцен кафедры “Вычислительные машины, системы и сети”, Таджикский национальный университет. Адрес: Республика Таджикистан, 734025, город Душанбе, проспект Рудаки, 17. Тел.: (+992) 917 23 29 18. E-mail: shamsiddinnnnnn@mail.ru.

Умаров А.Н. – к.т.н., доцент кафедры информатики и телекоммуникации Дангаринского государственного университета. Адрес: Республика Таджикистан. Дангара, ул.Маркази 25. Тел.: (+992) 887-77-77-16. E-mail: anvarrr.1994@gmail.com.

Information about the authors: Sharofiddin Yusufi - Bokhtar State University named after Nosir Khusrav, assistant of the department of methods of teaching mathematics (MPM). Address: 735140, Republic of Tajikistan, Bokhtar, prospect. Aini67. Phone: +992 919 12 74 13. E-mail: sharofiddinnnn@mail.ru.

Vosidov Shamsiddin Yusufovich - Tajik National University, Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Computing Machines, Systems and Networks. Address: 17 Rudaki Avenue, Dushanbe, 734025, Republic of Tajikistan. Phone: +992 917 23 29 18. E-mail: shamsiddinnnnnn@mail.ru

Umarov A.N. – Ph.D., Associate Professor of the Department of Informatics and Telecommunications, Dangara State University. Address: Republic of Tajikistan. Dangara, 25 Markazi street. Tel: (+992) 887-77-77-16. E-mail: anvarrr.1994@gmail.com.

Рецензент: Пиров Х.Х. – н.и.м., дотсенти кафедраи математикаи олии Донишгоҳи давлатии Данғара

Мақола ба редакция ворид шуд: 09.06.2026

Аз тақриз баргашт: 29.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 29.08.2026

УДК 517:681.3

ББК 22.1+73

К-27

ҲАЛЛИ МУОДИЛАҲОИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ТАРТИБИ ЯК ВА ТАРТИБИ ДУ БО УСУЛИ АНАЛИТИКӢ ВА РАҚАМӢ ДАР МУҲИТИ VISUAL BASIC 6.0

Каримов Алишер
Донишгоҳи давлатии Данғара

Муодилаҳои дифференсиалӣ яке аз воситаҳои муҳими омӯзиши математикӣ дар моделсозии равандҳои табиӣ, иқтисодӣ, физикӣ ва биологӣ ба шумор мераванд. Ҳалли ин гуна муодилаҳо ҳам бо усулҳои аналитикӣ ва ҳам бо усулҳои рақамӣ анҷом дода мешавад. Дар амал бисёр муодилаҳо шакли аналитикии содда надоранд, бинобар ин истифодаи методҳои рақамӣ зарур мегардад.

Яке аз муҳитҳои барномасозӣ, ки барои омӯзиш ва сохтани моделҳои оддии рақамӣ имконият медиҳад, муҳити Visual Basic 6.0 (VB6) мебошад. Дар асри XXI - асри технологияҳои иттилоотӣ — барномасозӣ ба яке аз малакаҳои калидии касбӣ ва шахсӣ мубаддал гаштааст. Инкишофи босуръати технологияҳо, автоматикунонии равандҳои истеҳсоли ва, воридшавии васеи системаҳои рақамӣ ба ҳаёти инсон талаб мекунад, ки омӯзиши фанни **барномасозӣ** ба таври муосир ва методӣ ба роҳ монда шавад.

Муқаддимаи забони барномасозии Visual Basic, яке аз забонҳои барномасозии маъруф ва осонфаҳм мебошад, ки барои таҳия ва сохтани барномаҳои гуногун дар муҳити Windows истифода мешавад. Ин забон аввалин бор аз тарафи ширкати Microsoft дар соли 1991 пешниҳод шуда, ҳоло яке аз забонҳои асосии таҳияи барномаҳои графикии интерфейс (GUI) ба шумор меравад. Visual Basic асосан барои сохтани барномаҳои таҳлилии иттилоотӣ, идоракунии базаҳои додаҳо, барномаҳои офисӣ ва таҳияи барномаҳои корбарӣ ба кор бурда мешавад. Яке аз хусусиятҳои калидии Visual Basic -осонии омӯзиш ва истифодаи он мебошад, ки барои барномасозони нав ва мутахассисон имконияти зудтар ва самараноктар сохтани барномаҳоро фароҳам меорад. Visual Basic ба назароти объекти барномасозӣ (Object-Oriented Programming - OOP) асос ёфта, имкон медиҳад, ки барномаҳо ба қисматҳои алоҳида тақсим шуда, ҳар як қисми барнома мустақилона таҳия ва идора шавад. Ин хусусият барои нигоҳдорӣ ва такмили барномаҳо хеле муфид аст. Бо ёрии Visual Basic метавон барномаҳои мураккабро бо интерфейсҳои муфид ва осон барои корбарон таҳия кард. Он дорои муҳити интегралӣ барои таҳияи барномаҳо (Integrated Development Environment –(IDE) мебошад, ки дар он барномасозон метавонанд код нависанд, санҷанд ва барномаро ба осонӣ идора кунанд. Дар маҷмӯъ, Visual Basic забони барномасозии қулай ва самаранок барои таҳиягарони барномаҳои гуногун мебошад, ки дар соҳаҳои мухталиф истифодаи васеъ дорад. Дар ин мақола усулҳои ҳалли муодилаҳои дифференсиалии тартиби I ва II ва инчунин сохтори барнома барои амалисозии онҳо дар VB6 баррасӣ карда мешавад [5, саҳ.254].

Ҳал кардани муодилаи дифференсиалӣ ин ёфтани ҳалли умумии он мебошад. Ҳалли умумӣ – ин ҳалли ниҳонии муодилаи дифференсиалӣ мебошад, ки параметрҳои озод (константаҳои интегралӣ)-ро нигоҳ медорад. Он ҳамаи ҳалҳои имконпазирро дар бар мегирад. Ҳалли хусусӣ — ин ҳалли он муодилаи дифференсиалӣ мебошад, ки бе константаҳои озод аст ва шартҳои ибтидоӣ ё сарҳадиро қонеъ мекунад.

Муодилаи дифференсиалии тартиби якуми намуди $y' + 1 = 0$ дода шудааст ва талаб карда мешавад, ки аввал ҳал карда шавад ва сипас барномаи он дар забони барномасозии он сохта шавад. Акнун муодилаи додашудаи намуди зеринро дида мебароем.

1. Аввал шакли математикии онро дар намуди аналитикӣ ҳал мекунем ва модели ҳалли онро тартиб медиҳем.

Муодилаи дифференсиалии тартиби як.

$$y' + 1 = 0$$

Яъне

$$y' = \frac{dy}{dx}$$

$$\frac{dy}{dx} = -1$$

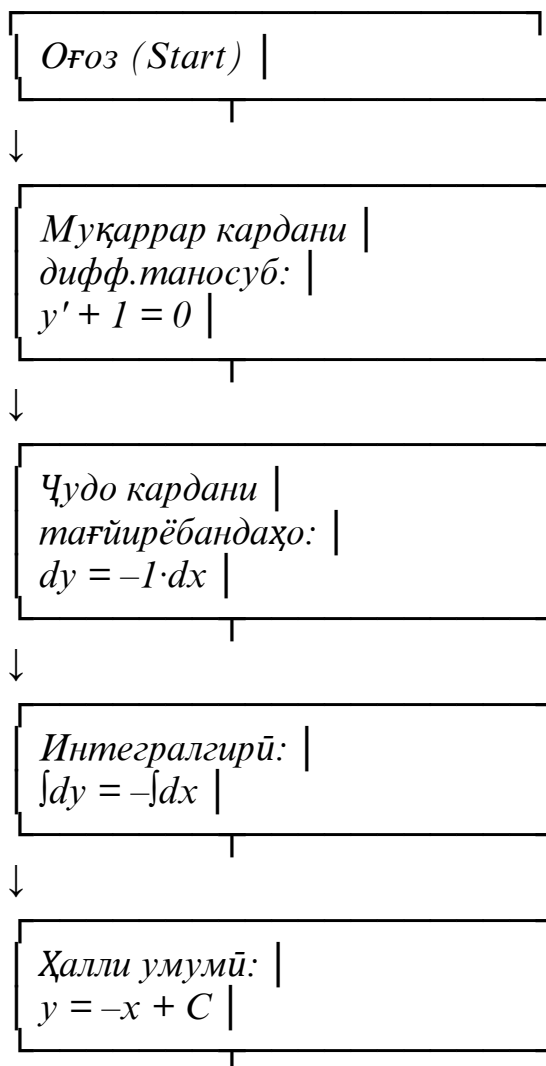
Интеграл мегирем

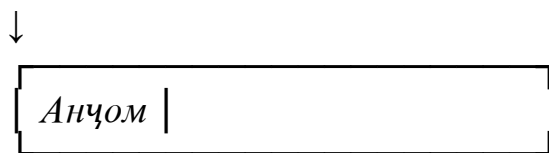
$$Y = -x + c$$

Ҳал:

$$Y = -X + C$$

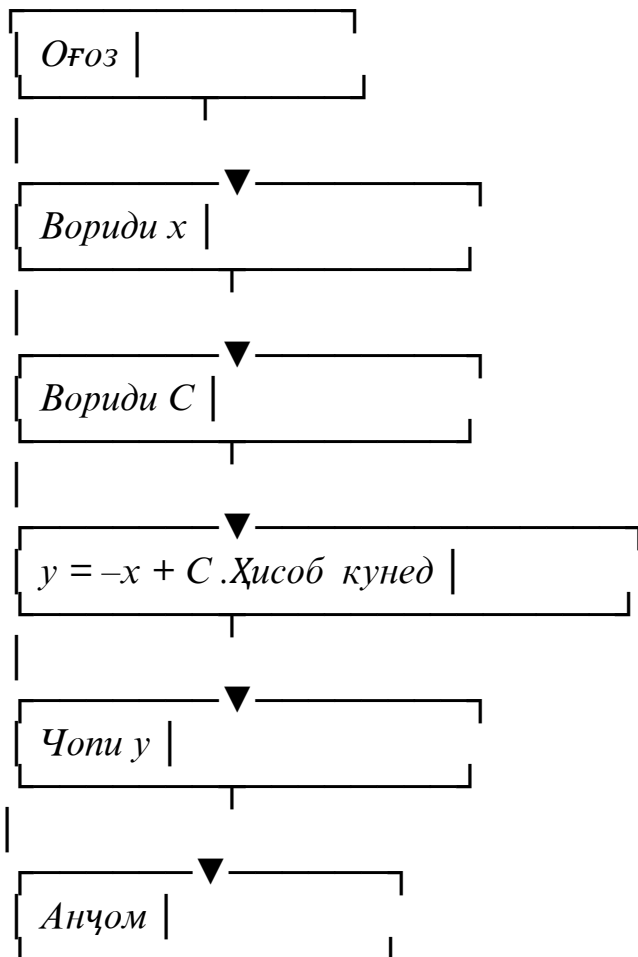
2. Блок схемани ҳалли онро дар намуди алгоритм нишон медиҳем.





3. Блок-схемаи модели ҳалли онро дар намуди алгоритм нишон медиҳем.

$$y = -x + C$$



Шарҳи блок-схема

Оғоз

Истифодабаранда қиматҳои x ва C (константа)-ро ворид мекунад

Ҳисоб кардани $-x$

Ҳисоб кардани формулаи ниҳой:

$$y = -x + C$$

Намоиши натиҷа

Анҷом

4. Барномаи VB 6.0 барои ҳисоб кардани $y = -x + c$

Тарзи 1.

Дар visual basic 6.0 шакли одди месозем.

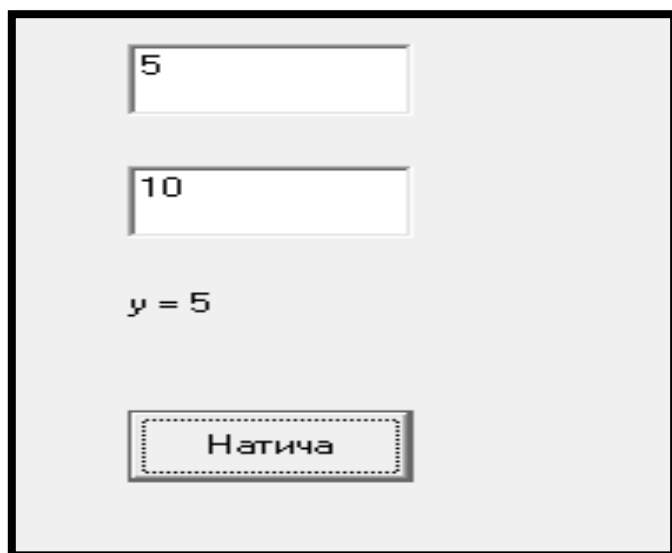
Text box, барои ворид кардани x

Text box, барои ворид кардани c
Label барои натиҷа
Command Button барои ҳисоб
Коди барнома.

```
Private sub command_click
    Dim x As double
    Dim c As double
    Dim y As double
    'хондани маълумот аз text box
    x = cdbl(text1.text)
    c = cdbl(text2.text)
    'Ҳисоб кардан
     $y = -x + c$ 
    'Натиҷаро нишон додан
    Label.Caption = "y = "& y
End sub
```

Маълумот оиди компонентҳо.

1. *text1*-қимати x
2. *text2*-қимати c (константа)
3. *Command1*-тугмаи ҳисоб
4. Нишон додани натиҷа



Тарзи 2.

Барномаи сохташуда.

Коди барномма.

```
Private Sub Command1_Click()
Dim x As Double
Dim c As Double
Dim y As Double
x = Val(Text1.Text)
c = Val(Text2.Text)
y = Val(Text3.Text)
y = -x + c
Text3.Text = y
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
Text3.Text = ""
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
end
```

```
End Sub
```

Муодилаи дифференсиалии тартиби ду.

Барои мисол чунин муодиларо мегирем.

1.Шакли математикӣ.

$$y'' = 6x$$
$$y' = \int 6x dx = 3x^2 + c_1$$

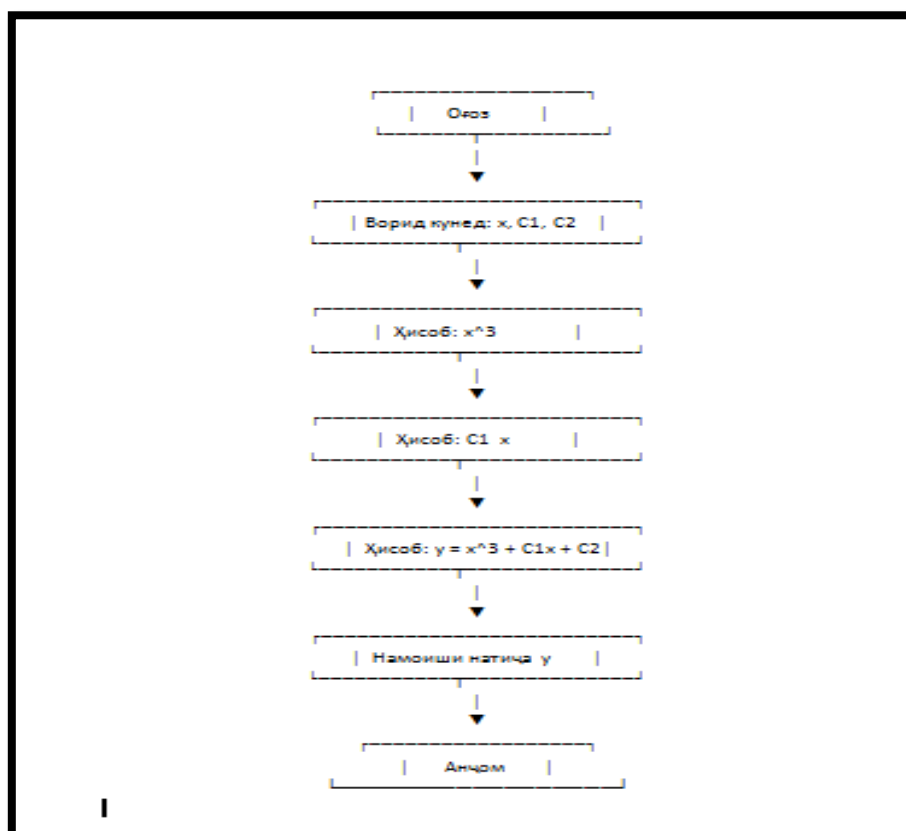
Боз интеграл мегирем

$$y' = \int (3x^2 + c_1) dx = x^3 + C_1x + C_2$$

Ҳалли умумӣ

$$y = x^3 + C_1x + C_2$$

2.Алгоритми ҳалли барнома.Блок-схема.



3.Код дар Visual Basic 6.0 Дар форм (Form1) .

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Dim x As Double
```

```

Dim C1 As Double
Dim C2 As Double
Dim Y As Double
x = Val(Text1.Text)
C1 = Val(Text2.Text)
C2 = Val(Text3.Text)
Y = Val(Text4.Text)
Y = x ^ 3 + C1 * x + C2
Text4.Text = Y
End Sub

```

Намоиши натиҷа. $Text4.Text = Y$

Барнома чунин қадамҳоро иҷро мекунад:

1. Қиматҳои X , $C1$ ва $C2$ аз textbox хонда мешаванд.

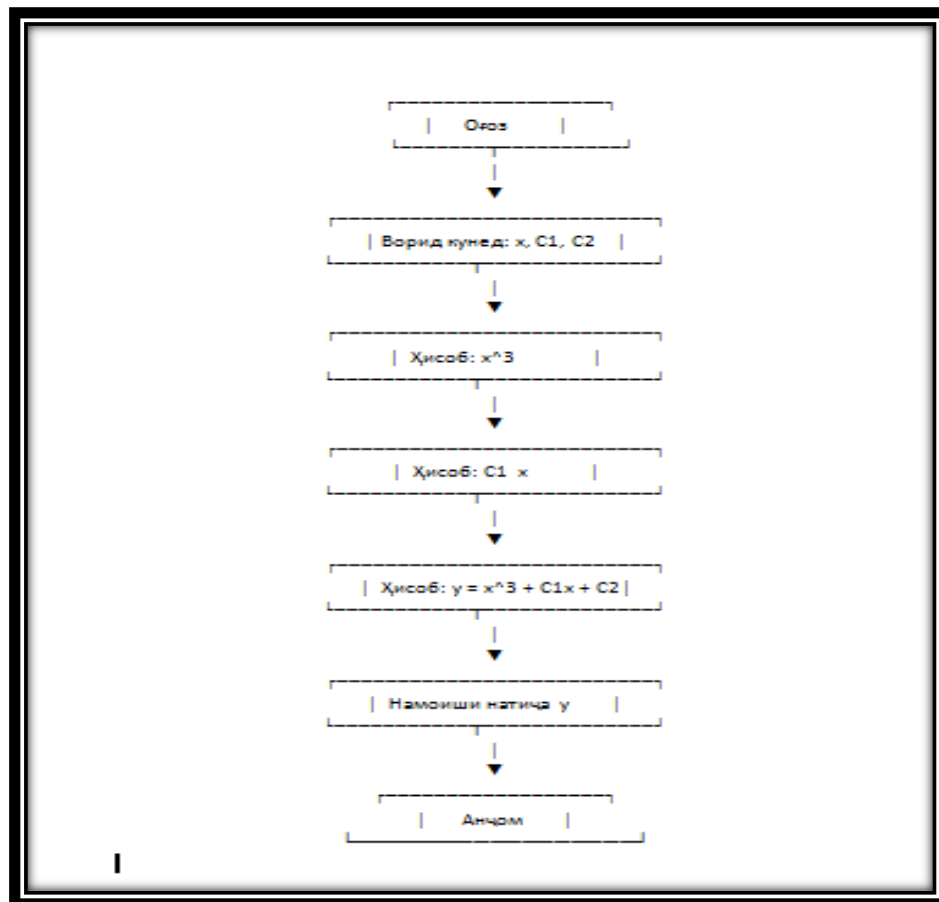
2. Формулаи ҳалли умумӣ истифода мешавад:

$$Y(x) = x^3 + C1 * x + C2$$

3. Натиҷа дар $Text4.Text = Y$ нишон дода мешавад.

4. Ҳисоби $Y(x) = x^3 + C1 * x + C2$

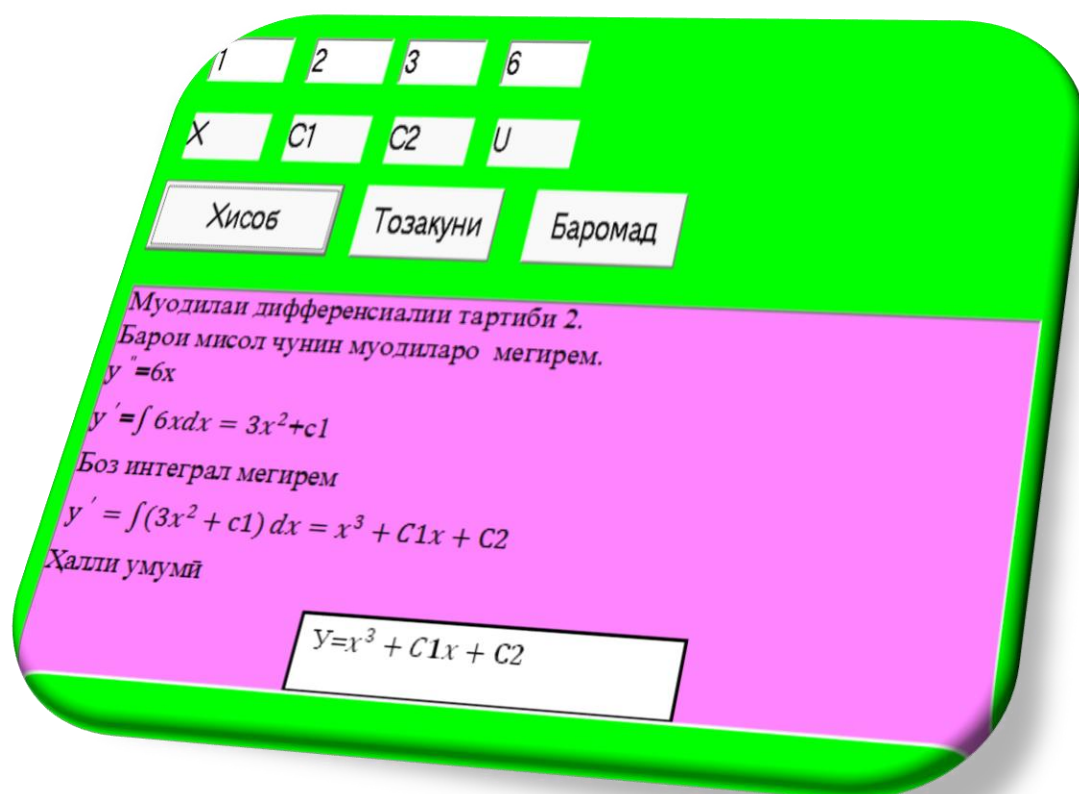
5. Намоиши натиҷа $Text4.Text = Y$



Маълумот

1. Қадами 1 — дохил кардани қиматҳои X , $C1$, $C2$

- 2.Қадами 2 — ҳисоб кардани X^3
- 3.Қадами 3 — ҳисоб кардани $C1X$
- 4.Қадами 4 — чамъ кардани ҳамаи қисмҳо барои ба даст овардани u
- 5.Қадами 5 — намоиши натиҷа.



Хулоса: Ҳалли умумии муодила аз се қисм иборат аст: қисми хусусӣ → ҳалли оддӣ → $dx y = -x + C$ ва $Y = x^3 + C1x + C2$. Сохтани барнома ва натиҷагири аз барнома дар муодилаи дифференциалӣ.

Адабиёт.

1. Кудрявцев Л. Д. Курс математического анализа: учеб. пособие. Т. 1. — 7-е изд. — М.: Дрофа, 2008. — 702 с.
2. Филиппов А. Ф. Введение в теорию дифференциальных уравнений: учеб. пособие. — 2-е изд., испр. — М.: КомКнига, 2007. — 240 с.
3. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Дифференциальные уравнения. Уравнения математической физики. — М.: Наука, 1966. — 424 с.
4. Исмаиљ М. Математикаи ољӣ барои ихтисосҳои иқтисодӣ: китоби дарсӣ. — Душанбе, 2010. — 478 с.
5. Раҳмонов Х. Б. Муодилаҳои дифференциалӣ: китоби дарсӣ. — Душанбе, 2007. — 215 с.

6. *Комилов Ф. С.* Информатика ва технологияҳои иттилоотӣ: китоби дарсӣ. — Душанбе: Душанбе Принт, 2016. — 480 с.

ҲАЛЛИ МУОДИЛАҲОИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ТАРТИБИ ЯК ВА ТАРТИБИ ДУ БО УСУЛИ АНАЛИТИКӢ ВА РАҚАМӢ ДАР МУҲИТИ VISUAL BASIC 6.0

Фишурда. Муодилаҳои дифференсиалӣ яке аз абзорҳои асосии математикаи амалӣ ба ҳисоб мераванд. Онҳо барои тавсифи раванди тағйирёбии системаҳо дар табиат, техника, иқтисод ва кибернетика истифода мешаванд. Барои ҳалли чунин муодилаҳо усулҳои гуногуни аналитикӣ ва рақамӣ таҳия шудаанд. Дар муҳити **Visual Basic 6.0**, ки як забони барномасозии қулай ва классикии равзанаӣ мебошад, татбиқи усулҳои рақамӣ барои ҳалли муодилаҳои дифференсиалӣ хеле содда аст, зеро он амалиётҳои такрориро ба таври автоматӣ иҷро мекунад.

Калидвожаҳо: аналитикӣ, рақамӣ, дифференциал, модел, барнома. РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА АНАЛИТИЧЕСКИМ И ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДАМИ В СРЕДЕ VISUAL BASIC 6.0

Аннотация. Дифференциальные уравнения являются одним из основных инструментов прикладной математики. Они используются для описания процесса изменения систем в природе, технике, экономике и кибернетике. Для решения таких уравнений разработаны различные аналитические и численные методы. В среде Visual Basic 6.0, которая является удобным и классическим оконным языком программирования, реализация цифровых методов для решения дифференциальных уравнений очень проста, поскольку она автоматически выполняет повторяющиеся операции.

Ключевые слова: аналитический, численный, дифференциал, модель, программа.

SOLVING FIRST- AND SECOND-ORDER DIFFERENTIAL EQUATIONS BY ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS IN THE VISUAL BASIC 6.0 ENVIRONMENT

Annotation. Differential equations are one of the main tools of applied mathematics. They are used to describe the process of changing systems in nature, technology, economics, and cybernetics. Various analytical and numerical methods have been developed to solve such equations. In Visual Basic 6.0, which is a convenient and classic windowed programming language, the implementation of digital methods for solving differential equations is very simple because it automatically performs repetitive operations.

Keywords: analytical, numerical, differential, model, program.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Каримов Алишер Ғашиевич* - н.и.ф.-м, и.в.дотсенти кафедраи математикаи оӣ, Донишгоҳи давлатии Данғара. **Адрес:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ноҳияи Данғара, кӯчаи Марказӣ 34. **Телефон:** (+992) 200734333, **E-mail:** alisher_karimov1967@mail.ru.

Сведения об авторе: *Каримов Алишер Ғашиевич* - к.ф.-м.н., и.о.доцента кафедры высшей математики Дангаринского государственного университета. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, Дангаринский район, ул. Маркази 34. **Телефон:** (+992) 200734333, **E-mail:** alisher_karimov1967@mail.ru

Information about the author:

Karimov Alisher Gashovich - Ph.D., M., I.V. Associate Professor of the Department of Higher Mathematics of the Dangara State University. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, Dangara district, Markazi str. 34. **Phone:** (+992) 200734333, **E-mail:** alisher_karimov1967@mail.ru

Муқарриз: **Умаров А.Н.** – н.и.т., дотсенти кафедраи информатика ва телекоммуникатсияи Донишгоҳи давлатии Данғара

Мақола ба редакция ворид шуд: 09.06.2026

Аз тақриз баргашт: 27.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 28.08.2026

УДК 517.912:004.42

**ТАҲҚИҚИ САМАРАНОКИИ КОМПЛЕКСИ БАРНОМАВӢ
ҲАНГОМИ ГУЗАРОНИДАНИ ҲИСОБҲОИ ТАҚСИМОТИ ҲАРОРАТИ
ҒАЙРИСТАЦИОНАРӢ ДАР МУҲИТИ КОНДЕНСӢ**

*** Ҷӯразода Х. Ш., Салмони Абдурахим, Умаров А.Н.**

*** Донишгоҳи миллии Тоҷикистон**

Донишгоҳи давлатии Данғара

Мукаддима. Дар мақолаҳои муаллифон [1-6] тавсия дода шуд, ки ҳалли масъалаи канорӣ ва аввала барои тақсими ғайристационарии ғайрихаттии ҳарорат дар муҳити конденсӣ, ки ба ҳалли масъала барои муодилаи ғайришуби наздик аст, ба усули ададӣ омӯхта шавад. Яъне масъалаи Стефан, ки бо муодилаи параболики тасвир карда мешавад, ба муодилаи ба он наздики навъи гиперболикӣ иваз карда шуда, модели усули ададии ҳал пешниҳод мешавад. Соҳаи тағйирёбии тағйирёбандаҳои мустақил барои фазои якченака ва дученака дода шудааст.

Аз он ҷумла дар қори [2] қайд шудааст: «*Хусусияти ин масъала андозаи тағйирёбандаи соҳаест, ки дар он майдони ҳарорат тадқиқ карда мешавад. Ин натиҷаи мавҷудияти сарҳади ҳаракаткунандаи тақсими фазаҳо мебошад. Омӯзиши рафтори сарҳади бахш дар вақт ҳадафи асосии*

ҳалли масъала мебошад. Инчунин қайд мекунем, ки хосиятҳои физикии муҳит ҳангоми гузаштан аз сарҳади тағйирёбии фаза ба таври ногаҳонӣ тағйир меёбанд (дар ҳолати гармидиҳӣ). Ҳамин тариқ, масъалаи Стефан бо номутаносибии назарраси геометрикӣ ва физикӣ хос аст, ки ҳалли онро хеле душвор мекунад» [2, с.510].

Дар кори [3] бошад, баён шудааст: «Мақсади таҳқиқоти мазкур коркарди усули математикии ҳалли масъалаи модели математикӣ ва адабии гузариши фазавӣ дар мисоли масъалаи якченакаи Стефан дар асоси усули гиперболикии сунъӣ мебошад» [3, с.104].

Дар мақола [5] муаллифон натиҷаҳои тадқиқоти мубодилаи гармӣ бо тағйирёбии фаза дар моделҳои дученака бо истифода аз усули гиперболикунии сунъӣ пешниҳод намудаанд, Дар ин кор баён гардидааст: «Принсипҳои сарфаи энергия барои модели намунаи хусусиятҳои гармии пиряхҳо дар минтақаҳои яхбандии абадӣ бо назардошти тағйирёбии фазаи намӣ (об ва ях) дар сӯрохиҳои пирях истифода шуданд. Ҳангоми таҳияи модели математикӣ якчанд омилҳои муҳими иқлимӣ ба назар гирифта шуданд. Ба онҳо тағйирёбии ҳарорати солона, заминаи радиатсионӣ, тавозуни гармӣ, баландӣ ва зичии қабати барф дохил мешаванд. Ин омилҳо дар муайян кардани арзишҳои ададӣ, ки барои сохтани модели боэътимод заруранд, нақши ҳалкунанда доранд, ки метавонанд тағйирёбии ҳарорат дар пиряхҳо ва рушди равандҳои криогениро пешгӯӣ кунанд, ки боиси баланд шудани гузариш ва тағйирёбии минбаъдаи фаза ҳангоми гармкунӣ ва хунуккунӣ мешаванд. Дар доираи тадқиқоти модели пешниҳодишуда ҳисобҳои рақамӣ гузаронида шуданд. Ин ҳисобҳо нишон доданд, ки ҳамкориҳои байни ҷисми сахт ва моеъ бо зиёд шудани масофаи байни онҳо коҳиш меёбад. Илова бар ин, муайян карда шуд, ки ҳарорат бо кам шудани нишондиҳандаи баланд мешавад. Ин натиҷаҳо, ки ба модели мушаххаси гиперболикунии сунъӣ асос ёфтаанд, барои фаҳмидани гузаришҳои фаза дар системаҳои мураккаб замина фароҳам меоранд» [5, с.15].

Ҳангоми сохтани барнома имконият пайдо шуд, ки алгоритмро иловатан тағйир диҳем ва синфи масъалаҳои ҳалшавандаро васеъ кунем. Бо ин мақсад, принципи модуль ҳангоми навиштани барнома истифода шуд [7, 8].

Таркиби модульҳои ҳисоббарориро барои схемаи фарқӣ ва шабакаҳои ниҳои дар таҳқиқоти корҳои [1-6] баррасишуда бо мисолу масъалаҳои тавсиф менамоем. Блокҳо ё дастгоҳҳои ниҳои модуль махсус мебошанд.

1. Модули якуми объекти пешакӣ. Объекти пешакӣ барои гузоштани масъалаи ҳисоббарорӣ дар намуди оди бо шартҳо ва параметрҳои мушаххас масъул аст. Муқаррар кардани масъала, муайян кардани соҳаи ҳисоббарорӣ дар намуди сода, муайян кардани гиреҳҳои идоракунӣ, шабакаи вақтӣ ва фазои координатиро дар бар мегирад (ниг. ба [1-6]). Дар

зер рӯйхати параметрҳо ва хосиятҳои муайянкардаи модули як оварда шудааст:

- 1) Қимати миёнаи зичии атомии модда дар соҳаи Ω ҳисобшуда дар лаҳзаи ибтидоии вақт t_0 ;
- 2) Ченаки L_x, L_y, L_z соҳаи Ω ҳисобшуда;
- 3) Пешаки хунуккунии модда дар соҳаи ҳисобшуда дар лаҳзаи ибтидоии вақт;
- 4) Бузургии параметри τ масъули суръати танзимкунонии сохтори модда;
- 5) Параметрҳои намуди ошубӣ ибтидоии системҳо;
- 6) Параметрҳои шабакаи ҳисобшуда N_x, N_y, N_z (қадамҳои интиҳоб) барои соҳаи додашуда;
- 7) Бузургии қадами вақти Δt раванди ҳисоббарорӣ;
- 8) Давомнокии максималии вақти t_{max} раванди моделиронӣ;
- 9) Давомнокии шумораи максималии қадамҳои вақт барои иҷрои ҳисобҳо;
- 10) Вақти аз нав оғоз кардани компютер, ки ҳамчун лаҳзаи ибтидоии ҳисобкунӣ қабул карда мешавад (дар сурати аз нав оғоз кардани ҳисобкунӣ аз лаҳзаи муайяни вақт истифода мешавад);
- 11) Вақти аз нав оғоз кардани қадам, ки ҳамчун лаҳзаи ибтидоии ҳисобкунӣ қабул карда мешавад (агар ҳисобкунӣ аз қадами муайяни вақт оғоз карда шавад, истифода мешавад);
- 12) Параметрҳо барои нигоҳ доштани маълумоти ҳисобкунии миёна.

Модул барои тақсимои ибтидоии сели гармӣ ва функцияҳои ҳарорат муқаррар карда мешавад, сарҳади соҳа муайян ва параметрҳои зарурии ҳисобшуда ворид карда мешаванд. Ҳангоми гузоштани параметр системаи координатҳои интиҳобшуда сабт карда мешавад ва қиматҳои коэффитсиентҳо ҳисоб карда мешаванд. Ҳамчун маълумоти ибтидоӣ дар соҳаи G ҳисобкунӣ сели (ҷараёни) бетаъсир дода шуд ва дар ҷисм шартҳои сарҳадӣ дода шуданд; арзишҳои ибтидоии коэффитсиентҳои табдилдиҳӣ ва параметри интегралсия x_k ҳисоб карда шуданд, ба $kh \left(h = \frac{L}{n} \right)$ баробар аст, ки дар он k шумораи гиреҳҳои шабакаи фарқӣ аз x ва L дарозии координата x мебошад. Айнан ба ҳамин монанд дигар параметрҳо ҳисоб мешаванд.

Ҳамин тариқ, ин модул платформаи гуногун аст, метавонад рамзи иҷроияро барои компютерҳои фардии гуногун истифода шавад ва метавонад бо роҳи фаъол кардани маҷмӯи иловагии ба осонӣ васеъ карда шавад.

2. Модули асосии ҳисоббарорӣ. Модули асосии ҳисобкунӣ рамзи барномавӣ дар муҳити барномасозии Matlab [8], C ва C++ [7] мебошад. Модул асбобҳои китобхонаи алгоритмии озодона паҳншавандаро истифода мебарад. Дар асоси ин асбоб алгоритми ададии ҳалли муодилаи майдони фазаи гузариш тағйирёфта, ки дар корҳои муаллифон тасвир шудааст, амалӣ карда шудааст.

Мувофиқи тақсимоти сели гармӣ ва функцияҳои ҳарорат аз ҳалли муодилаҳо

$$\tau_T \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\beta \nabla T) + Q(r, t), \quad (1)$$

гиреҳҳои шабака бо координатҳо ва вақт муайян карда мешаванд:

$$t_m = ml; \quad m = 1, 2, \dots, M; \quad l = \frac{t_{\max}}{M},$$

$$x_k = kh; \quad k = 0, 1, 2, \dots, N; \quad h = \frac{x_{\max}}{N},$$

ки дар он l қадам аз рӯи вақт дар шабакаҳо; m - зарфияти афзоиш аз рӯи вақт; M - шумораи тақсимоти вақт; h - қадами шабакаҳои фазоӣ; k - шумораи нуқтаҳои гиреҳҳо дар самти координатҳо x ; N - шумораи тақсимот аз рӯи дарозии координатаи x . Ҳангоми ҳалли масъала (1) бо шартҳои канорию аввалаи

$$T_\varepsilon(r, 0) = \varphi(r), \quad \left. \frac{\partial T_\varepsilon}{\partial t} \right|_{t=0} = \psi(r), \quad 0 < r < L, \quad (2)$$

кадоме $\varphi(r)$, $\psi(r)$ - функцияҳои додшудаи аз координатҳои фазоӣ $r = (x, y, z)$ вобаста мебошад,

$$\left(\gamma_1 T(r, t) + \gamma_2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) \Big|_{r=0} = \left(\gamma_1 T(r, t) + \gamma_2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) \Big|_{r=L} = 0, \quad 0 \leq t \leq R, \quad (3)$$

ки L, R – адади додшуда аст, барои муқаррар кардани муодилаи фарқӣ

$$\alpha \frac{T_{1,k}^{m+1} - 2T_{1,k}^m + T_{1,k}^{m-1}}{h_t^2} + \frac{T_{1,k}^{m+1} - T_{1,k}^{m-1}}{2h_t} = \beta \cdot \frac{T_{1,k+1}^m - 2T_{1,k}^m + T_{1,k-1}^m}{h_x^2}, \quad (4)$$

$$\alpha \frac{T_{2,k}^{m+1} - 2T_{2,k}^m + T_{2,k}^{m-1}}{h_t^2} + \frac{T_{2,k}^{m+1} - T_{2,k}^{m-1}}{2h_t} = \beta \cdot \frac{T_{2,k+1}^m - 2T_{2,k}^m + T_{2,k-1}^m}{h_x^2}, \quad (5)$$

дар он $T_{1,k}^m = T_1(x_k, t_m)$ ва $T_{2,k}^m = T_2(x_k, t_m)$.

Барои қадами ибтидоии вақт онҳо аз шартҳои ибтидоӣ (2) муайян карда мешаванд:

$$T_{1,k}^0 = \varphi_k, \quad \frac{T_{1,k}^1 - T_{1,k}^0}{h_t} = \psi_k \quad (T_{1,k}^1 = h_t \cdot \psi_k + \varphi_k) \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (6)$$

Шартҳои сарҳадӣ дар шакли

$$T_{1,0}^m = T_c, \quad T_{2,N}^m = T_0. \quad (7)$$

Ҳисобҳои зерин дар сарҳади гузариши фазаӣ иҷро карда мешаванд:

$$T_{1,k}^m = T_{2,k}^m. \quad (8)$$

$$\frac{T_{2,k+1}^m - T_{2,k-1}^m}{2h_x} - \frac{T_{1,k+1}^m - T_{1,k-1}^m}{2h_x} = \gamma \frac{\xi_{k+1} - \xi_{k-1}}{2h_t}. \quad (9)$$

Рӯйхати бузургҳо зарурӣ дар система (4) ва (5) барои вақти ҷорӣ t_m бо тартиби зерин оварда шудааст:

$$T_{1,k-1}^{m+1}, T_{1,k}^{m+1}, T_{1,k+1}^{m+1}; T_{2,k-1}^{m+1}, T_{2,k}^{m+1}, T_{2,k+1}^{m+1},$$

валеъ барои координатаҳои фазоӣ x_k бошад:

$$T_{1,k+1}^{m-1}, T_{1,k+1}^m, T_{1,k+1}^{m+1}; T_{2,k+1}^{m-1}, T_{2,k+1}^m, T_{2,k+1}^{m+1},$$

дар ҳар як қадами итерасионӣ ҳам ҳалли ғайристатсионарӣ ва ҳам итерасионӣ иҷро карда мешаванд. Муҳим аст, ки муодилаҳои фарқият барои шабака ва системаи муодилаҳои фарқӣ ҳамзамон якҷоя шаванд.

Инро бо интихоби қадами такрорӣ дар муодилаи шабака ба даст овардан мумкин аст. Қадами итерасия аз рӯи координатаҳои вақтӣ ва фазоӣ барои ҳалли муодилаҳои фарқӣ (4), (5) баробар интихоб карда шуда, аз 50-100 қадам аз $x_0 = x_{min}$ то $x_k = x_{max}$.

Модули ҳисобкунӣ дар якҷоягӣ бо модули якум кор мекунад ва ҳалли ададии масъалаи гузоштаи блоки якро иҷро мекунад (дар режими пайдарпай ё параллелӣ). Идоракунии модули ҳисобкунӣ тавассути сатри фармон бо истифода аз фармонҳои забони барномасозӣ амалӣ карда мешавад. Вариантҳои зерини оғози модули ҳисобкунӣ амалӣ карда шуданд:

1) Шумораи чараёнҳои пайдарпайи (параллелӣ) барои иҷрои ҳисобҳо;

2) Басомади баровардани натиҷаҳои миёнаи ҳисобкунӣ ҳангоми кор кардани барнома;

3) Истифодаи маълумоти ҳисобҳои қаблӣ барои оғоз кардани ҳисоб аз як лаҳзаи фосилавӣ;

4) Хулосаи маълумоти техникӣ дар бораи рафти ҳисобкунӣ.

Қайд мекунем, ки модули ҳисоббарорӣ бо забонҳои маъмули барномасозии C, C++ [7] ва ё муҳити барномасозии Matlab [8] навишта шудааст ва танҳо китобхонаҳои кушодаи нармафзори алгоритмиро истифода мебарад. Аз ин рӯ, кор кардани ин модул дар компютерҳо бо

қариб ҳама гуна системаи амалиётии муосир имконпазир аст, яъне модули платформаи гуногун аст ва насби нармафзори иловагии тиҷоратиро талаб намекунад.

3. Модули сеюми объекти пас аз ҳисоббарорӣ. Ин модули барои коркарди массиви маълумоти интиқолёфтаи модули ҳисоббарорӣ ва визуализунии натиҷаҳои ҳисоббарорӣ дар шаклҳои гуногун пешбинӣ шудааст. Модули асбобҳоиро, ки дар китобхонаи забони барномасозӣ пешниҳод шудаанд, истифода мебарад. Бо истифода аз рамзи махсуси барномавӣ, ки дар дигар забонҳои барномасозӣ (аз он ҷумла Python) навишта шудааст, натиҷаҳои ҳисобҳо ба файл табдил дода мешаванд. Ин формат як қисми системаи нармафзори кушодаи кросс-платформа барои моделсозии сеҷониба, коркарди тасвирҳо ва визуализунии амалӣ мебошад ва онро дар ин ҷо истифода накардаем. Файлҳои гирифташударо дар визуализунониҳои гуногуни графикӣ кушодан мумкин аст.

Ин модули он қиматҳои ҳамаи векторҳои таркибиро дар қабати n дар ҳамаи нуқтаҳои соҳаи ҳисобшаванда, аз ҷумла канорҳо ҳисоб мекунад.

Ҳангоми тақрибан кардани муодилаҳои фарқии тартиби дуум бо формулаҳои (4)-(9) қиматҳои функсияҳои ҷустуҷӯшуда дар нуқтаҳои сарҳадӣ ҳисоб карда мешаванд.

4. Модули чоруми ҳисобкунии иловагӣ. Ин модули барои васеъ кардани имкониятҳои модули асосии ҳисобкунӣ ҳангоми ҳалли масъалаҳое, ки ҳисобкунии иловагӣ ё коркарди маълумотро дар бораи ҳисобкунӣ талаб мекунанд, хизмат мекунад. Дар айни замон модули дорой:

1) Восита барои ҳисоб кардани параметрҳои микроструктураи модда ҳангоми тағйирёбии сохторӣ-фазаӣ: адади мавҷ, параметри греҳҳои маводҳо ва суръати самти гузариши сохторӣ-фазаӣ. Ин воситаҳо барномаҳои махсусе мебошанд, ки бо забони барномасозии вобаста ва навишта шудаанд, ки ҳисобҳои табдили сохторӣ-фазаро истифода мебаранд, онҳоро коркард мекунанд;

2) Воситаҳо барои таҳлили истифодаи захираҳои ҳисоббарорӣ ва ҷамъоварии омор дар бораи кори модули ҳисоббарорӣ. Ин воситаҳо воситаҳои профили дар китобхонаи забони барномасозии мавҷудбударо истифода мебаранд ва метавонанд барои муайян кардани кори ҳисоббарорӣ бо истифода аз конфигуратсияҳои гуногуни сервери ҳисоббарорӣ ва танзимооти системаи он истифода шаванд.

Ин модули метавонад бо барномаҳои иловагӣ, ки бо ҳама гуна забонҳои барномасозии қулай навишта шудаанд, васеъ карда шавад, зеро интерфейси ҳамкорӣ бо модули ҳисоббарорӣ ва объекти пешакӣ ба интиқоли маълумот асос ёфтааст.

Блоки оператори мӯътадилкунанда барои пайдо кардани функсияҳои қадамҳои h_x миёнаравӣ истифода мешавад. Муодилаҳои

фарқият итеративӣ ҳал карда мешаванд, шартҳои сарҳадӣ ҳисоб карда мешаванд ва қиматҳои нави функсияҳои $T_{k-1}^{m+1}, T_k^{m+1}, T_{k+1}^{m+1}$ ҷустуҷӯшуда дар қабатҳои $(m+1)$ ва $(k+1)$ муайян карда мешаванд.

Дар охири ин блоки баромад ва коркарди иттилоот ҷой дода мешавад. Дар он, аз рӯи меъери муқаррароти хоси он

$$\varepsilon_2 = M_k \varepsilon_1$$

ичрои амалиёт таҳлил мегардад.

Барои кам кардани таъсири шартӣ тақрибии канорӣ дар соҳаи **G**, зерсоҳаҳои шабакаи **G1** ва **G2** буриши умумӣ доранд. Шартҳои сарҳадӣ дар минтақаи ибтидоии t_0 ва x_0 зерсоҳаи **G2** аз ҳалли ададии гирифташуда дар зерсоҳаи **G1** бо ҳамон арзиши t_0 ва x_0 . Барнома ҳалли худро дар ҳама гуна зерсоҳаи мушаххаси **G2** таъмин мекунад. Дар ин ҳолат, шартҳои канорӣ дар қисми вуруди t_0 тавассути ворид кардани массивҳои зарурии маълумот дода мешаванд. Барои ба даст овардани маълумоти аслий дар минтақаи **G2**, қиматҳои функсияро дар қисмати t_0 ворид кунед ва x_0 барои тамоми соҳа идома медиҳад.

Вобаста аз намуди масъалаҳои ҳалшаванда, модулҳои инфиродӣ метавонанд аз барнома хориҷ карда шаванд. Дастрасӣ ба блокҳо як маротиба ё дар миқдори баробар ба шумораи зерсоҳаҳои ҳисобшуда дар ҳар қадами итерасия амалӣ карда мешавад. Дастрасӣ ба блоки охир дар охири ҳисоб ё дар ҳисобкунаки қадамҳо сурат мегирад.

Адабиёт

1. *Джураев, Х.Ш.* Модельное исследование нелинейного нестационарного процесса теплопроводности для одномерной геометрии / *Х.Ш. Джураев, А.Н. Умаров, Салмони Абдурахим* // Вестник Таджикского национального. Серия естественных наук. 2019. - №3. – С. 104-111.
2. *Джураев, Х.Ш.* Математическое моделирование фазовых превращений на основе метода искусственной гиперболизации одномерной задачи Стефана / *Х.Ш. Джураев, Салмони Абдурахим* // Флагман науки: научный журнал. - СПб.: Изд. ГНИИ «Нацразвитие». - 2023. - № 11(11). - С.509-514.
3. *Джураев, Х.Ш.* Математическое моделирование фазовых превращений на основе метода искусственной гиперболизации одномерной задачи Стефана / *Х.Ш. Джураев, Салмони Абдурахим* // Вестник Дангаринского государственного университета. Серия естественных наук. - 2023. - №3 (25). - С.102-111.
4. *Джураев, Х.Ш.* Математическое моделирование фазового превращения на основе метода искусственной гиперболизации

- одномерной задачи Стефана / *Х.Ш. Джураев, А.Н. Умаров, Салмони Абдурахим* // Вестник Дангаринского государственного университета. Серия естественных наук. - 2025. - №1 (31). - С.83-87.
5. *Джураев, Х.Ш.* Численное решение задач теплопереноса с фазовыми переходами на основе метода искусственной гиперболизации / *Х.Ш. Джураев, Салмони Абдурахим* // Вестник Таджикского национального. Серия естественных наук. - 2025. - №3. - С.5-18.
 6. *Джураев, Х.Ш.* Математического моделирования фазовых превращений на основе метода искусственной гиперболизации одномерной задачи Стефана / *Х.Ш. Джураев, Салмони Абдурахим* // Теплоэнергетика и теплофизические свойства веществ; республиканская научно-практическая конференция (с международным участием) (27-28 ноября 2023г.) – Душанбе: ТТУ им. академика М.С. Осими. - 2023. - 245 с. (- С.78-83)
 7. *Павловская, Т.А.* C/C++. Программирование на языке высокого уровня / *Т.А. Павловская* // -СПб.: Лидер. - 2010. - 461 с.
 8. *Чӯраев, Х.Ш.* Технологии барномасозӣ (Мухити барномасозии Matlab) / *Х.Ш. Чӯраев, Ҳ.Ҳ. Муминов* // - Душанбе: ЭР-граф. – 2021. – 268 с.

ТАҲҚИҚИ САМАРАНОКИИ КОМПЛЕКСИ БАРНОМАВӢ ҲАНГОМИ ГУЗАРОНИДАНИ ҲИСОБҲОИ ТАҚСИМОТИ ҲАРОРАТИ ҒАЙРИСТАЦИОНАРӢ ДАР МУҲИТИ КОНДЕНСӢ

Фиишурда. Дар мақола самаранокии комплекси барномавӣ ҳангоми гузаронидани ҳисобҳои тақсими ҳарорати ғайристационарӣ дар муҳити конденсӣ барраси карда шудааст. Дар он оиди модулҳои асосии ҳисоббарорӣ мухтасар маълумот пешниҳод шуд, ки вазифаҳо ва коркарди ҳисоби масъаларо таъмин ва амалӣ менамояд.

Модул барои тақсими ибтидоии сели гармӣ ва функцияҳои ҳарорат муқаррар карда мешавад, сарҳади соҳа ва параметрҳои зарурии ҳисобшуда ворид карда мешаванд. Ҳангоми гузоштани параметр системаи координатҳои интиҳобшуда сабт карда мешавад ва қиматҳои коэффитсиентҳо ҳисоб карда мешаванд.

Ҳамаи модулҳо дар якҷоягӣ кор мекунад ва ҳалли адабии масъалаи гузоштаи блоки ядро иҷро мекунад (дар режими пайдарпай ё параллелӣ). Идоракунии модулҳо тавассути сатри фармон бо истифода аз фармонҳои забони барномасозӣ амалӣ карда мешавад. Модулҳо метавонад бо барномаҳои иловагӣ, ки бо ҳама гуна забонҳои барномасозии қулай навишта шудаанд, васеъ карда шавад, зеро интерфейси ҳамкорӣ бо модули ҳисоббарорӣ ва объекти пешакӣ ба интиқоли маълумот асос ёфтааст.

Калидвожаҳо: модулҳо, ҳисобҳои рақамӣ, тағйирёбии ҳарорат, схемаи фарқӣ, усули ададӣ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА НЕСТАЦИОНАРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В КОНДЕНСИРУЮЩЕЙСЯ СРЕДЕ

Аннотация. В данной статье представлен обзор программного комплекса, который демонстрирует высокую эффективность в решении задачи по расчёту нестационарного распределения температуры в конденсированной среде. В статье дана краткая информация о ключевых вычислительных модулях, отвечающих за выполнение всех необходимых расчётов и обработку данных.

Устанавливается модуль для начального распределения теплового потока и температурных функций, вводятся границы поля и необходимые расчётные параметры. При установке параметра записывается выбранная система координат, и рассчитываются значения коэффициентов.

Все модули работают совместно и выполняют численное решение задачи, поставленной в первом блоке (в последовательном или параллельном режиме). Управление модулями осуществляется через командную строку с использованием команд языка программирования. Модули могут быть расширены дополнительными программами, написанными на любом удобном языке программирования, поскольку интерфейс взаимодействия с вычислительным модулем и объектом предварительно основан на передаче данных.

Ключевые слова: модули, численные расчёты, изменение температуры, дифференциальная схема, численный метод.

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF A SOFTWARE PACKAGE FOR CALCULATING THE NON-STATIONARY TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A CONDENSING MEDIUM

Annotation. This article provides an overview of the software package, which demonstrates high efficiency in solving the problem of calculating the non-stationary temperature distribution in a condensed medium. The article provides brief information about the key computing modules responsible for performing all necessary calculations and data processing.

A module is installed for the initial distribution of heat flow and temperature functions, the field boundary and the necessary design parameters are introduced. When setting the parameter, the selected coordinate system is recorded and the coefficient values are calculated.

All modules work together and perform a numerical solution to the problem posed by block one (in serial or parallel mode). The modules are controlled via the command line using programming language commands. The modules can be extended with additional programs written in any convenient

programming language, since the interface of interaction with the computing module and the object is preliminarily based on data transmission.

Keywords: modules, numerical calculations, temperature variation, differential circuit, numerical method.

Маълумот дар бораи муаллифон: **Ҷуразода Хайруллоҳ Шароф** – д.и.ф.- м., профессор, профессори кафедраи мошинҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳои Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 917-30-70-60. **E-mail:** hayrullo_58@mail.ru.

Салмони Абдурахим - саромузгори кафедраи информатика ва телекоммуникатсияи Донишгоҳи давлатии Данғара. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Данғара, кӯчаи Марказӣ. 25. **Телефон:** (+992)988-16-11-12. **E-mail:** asalmon@mail.ru.

Умаров Анвардҷон Нуралиевич - н.и.т., дотсенти кафедраи информатика ва телекоммуникатсияи Донишгоҳи давлатии Данғара, **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, Данғара, кӯч.Марказӣ 25. **Тел.:** (+992) 887-77-77-16. **E-mail:** anvarrr.1994@gmail.com.

Сведения об авторах: **Джуразода Хайруллоҳ Шароф** – д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры вычислительных машин, систем и сетей Таджикского национального университета. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 917-30-70-60. **E-mail:** hayrullo_58@mail.ru.

Салмони Абдурахим – старший преподаватель кафедры информатики и телекоммуникации Дангаринского государственного университета **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, г. Данғара, ул. Маркази 25. **Телефон:** (+992) 988-16-11-12. **E-mail:** asalmon@mail.ru.

Умаров Анвардҷон Нуралиевич – к.т.н., доцент кафедры информатики и телекоммуникации Дангаринского государственного университета. **Адрес:** Республика Таджикистан, р-н. Данғара, ул. Маркази 25. **Тел.:** (+992) 887-77-77-16. **E-mail:** anvarrr.1994@gmail.com.

Information about the authors: **Jurazoda Khayrulloh Sharof** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, Head of the Department of Computing Machines, Systems and Networks of Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 917-30-70-60. **E-mail:** hayrullo_58@mail.ru.

Salmoni Abdurahim – Assistant of the Department of Mathematical Analysis and Theory of Functions of Faculty of Physical and Mathematical of Dangara State University. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, Daygara, Central Street, 25. **Phone:** (+992) 988-16-11-12. **E-mail:** asalmon@mail.ru.

Umarov Anvarjon Nuralievich – Ph.D., Associate Professor of the Department of Informatics and Telecommunications, Dangara State University. **Address:** Republic of Tajikistan. Dangara, 25 Markazi street. **Tel.:** (+992) 887-77-77-16. **E-mail:** anvarrr.1994@gmail.com.

Мақола ба редакция ворид шуд: 10.06.2026

Аз тақриз баргашт: 27.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 28.08.2026

**ТАҲҚИҚ ВА ОМУЌИШИ ЛАПИШҲОИ РАҚОСАКИ ПРУЖИННӢ
ТАВАССУТИ МОДЕЛРОНИИ КОМПЮТЕРӢ ДАР ФИЗИКА**

ОлимӢ А.Р., Набиев Ҷ.Ғ.

Донишгоҳи давлатии Данғара

Истифодаи моделҳои ҳодисаҳо ва равандҳои физикӣ, усули муҳими тадқиқотӣ мебошад. Имрӯз, илова бар физикаи назариявӣ ва таҷрибавӣ, метавон шоҳаи сеюми физика, физикаи ҳисоббарориро муайян ва истифода намуд. Яке аз самтҳои умедбахштарини истифодаи технологияи иттилоотӣ дар таълими физика моделсозии компютери равандҳо ва ҳодисаҳои физикӣ мебошад.

Истифодаи моделҳои компютери ҳодисаҳои физикӣ имкон медиҳад, ки қисми зиёди он чизеро, ки барои омӯзиши ғайрирасмии курси физика ва ташаккули тасвири физикии ҷаҳон зарур аст, ба даст оварем. Компютер метавонад дар шароити номусоид ба донишҷӯён кумак расонад дар ҳолати набудани шавқи донишҷӯ ба фан [8, с.87].

Компютер ба ақли инсон имкон медиҳад, ки ба тағйирот дар муҳити виртуалии офаридашуда фавран воқуниш нишон диҳад.

Қудрати воқеияти виртуалӣ дар озодии муоширати инсон бо муҳити виртуалӣ аст - дар ин маврид ягон маҳдудияти асосӣ вуҷуд надорад ва ҳар як ҷузъи ҳар як модели фазоӣ (прототипи виртуалӣ)-ро омӯхта ва санҷидан мумкин аст. Ин модел, ки дар компютер сохта шудааст, мисли муҳите, ки дар он зиндагӣ мекунад, аз маҳдудиятҳои фазо ва вақти физикӣ озод аст [1, с.44].

Моделрони компютерӣ имкон медиҳад, ки ҳодисаҳои физикӣ дар муҳити виртуалӣ анҷом дода шавад. Ҳолати мазкур барои системаҳои мураккаб ва беназири технологӣ муҳим мебошад.

Айни замон, мо шоҳиди истифодаи афзояндаи технологияҳои виртуалӣ ҳастем, яъне раванди эҷоди модели виртуалии (электронӣ) объекте, ки барои истеҳсоли минбаъда пешбинӣ шудааст, арзёбии ҳамаҷонибаи он дар марҳилаи намунаи виртуалӣ (масалан, барои беҳатарӣ, функционалӣ, қобили истеҳсол ва ғайра) ва беҳсозии равандҳои истеҳсоли равона шудааст. Танҳо пас аз ба даст овардани натиҷаҳои қаноатбахш қарор дар бораи ташкили объекти физикӣ қабул карда мешавад [2, с.29].

Озмоишгоҳи виртуалии ҷисмҳои лапишхуранда як системаи барномаҳои компютери интерактивӣ мебошанд, ки барои омӯзиши қонунҳои лапишҳои гармоникӣ ва муайян кардани басомад, даври лапишҳо ва таҳлили ҳодисаҳои физикии тарҳрезӣ шудаанд.

«Моделсозӣ раванде мебошад, ки тавассути он модели объекти таҳқиқоти сохта мешавад. Марказҳои омӯзиши маълумоти заруриро барои

сохтани чунин моделҳо пешниҳод мекунанд. Марказҳои мазкур маълумотҳоро дар бораи системаҳо, ҷузъҳо ва таъсири мутақобилаи онҳо пешниҳод мекунанд. Маълумотҳои пешниҳодшуда дар бораи кори система, параметрҳои муҳити атроф ва дигар омилҳо, ки ба сохтори система таъсир мерасонанд, равона шудааст» [6, с.26].

Барои мисол кори озмоишии виртуалиро вобаста ба қисми механика дар физика оиди мавзӯи “Таҳқиқ ва омӯзиши лапишҳои рақосаки пружинӣ тавассути моделронии компютерӣ дар физика”- ро дида мебароем. Пеш аз он, ки кори озмоишӣ иҷро карда шавад, донишҷӯ бояд бо назарияи кори озмоиши бо истифода аз адабиётҳои лозима шиносӣ пайдо кунад.

Ҳадафи ин кор чен кардани параметрҳои динамикӣ ва кинематикии рақосаки пружинӣ, инчунин таҳқиқи вобастагии давраи лапиш аз шароит ва хусусиятҳои ибтидоии системаи лапишхуранда мебошад. Намунаи графикаи лапишҳои гармоникӣ низ пешниҳод карда мешавад. Кори мазкур тавассути омӯзиши лапишҳои раққосаки пружинӣ ба роҳ монда мешавад [3, с.176].

Тибқи таҳлилҳои назариявӣ, лапишҳои рақосаки пружинӣ дар амплитудаҳои хурд бо қонуни гармоникӣ тавсиф карда мешаванд ва бо муодилаи зерин ифода карда мешавад

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

ки дар он x ҷойивазкунии нуқта аз мавқеи мувозинат дар лаҳзаи муайяни вақт, A амплитудайи ҷойивазкунӣ, $(\omega t + \varphi_0)$ фазаи лапиш, ω басомади даврӣ, t вақт, φ_0 фазаи ибтидоии лапиш мебошад. Басомади даврӣ бо басомади хаттӣ v тавассути вобастагии зерин муайян карда мешавад:

$$\omega = 2\pi v \quad (2)$$

Басомади даврӣ аз рӯи давраи лапиш бо истифода аз муодилаи зерин муайян карда мешавад [9, с.195].

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

Суръат ва шитоб функцияҳои гармоникӣ аз рӯи вақт мебошанд; муодилаи суръат бо роҳи гирифтани ҳосила аз ифодаи (1) нисбат ба вақт ва муодилаи шитоб бо роҳи гирифтани ҳосилаи тартиби дуюм нисбат ба вақт аз ифодаи (1) ба даст оварда мешавад. Амплитудайи суръат бо муодилаи зерин муайян карда мешавад:

$$v_{\max} = \omega A \quad (4)$$

Амплитудайи шитоб бо муодилаи зерин муайян карда мешавад:

$$a_{\max} = \omega^2 A \quad (5)$$

Мавқеъ ва суръат дар дилхоҳ лаҳзаи додашудаи вақт аз рӯи амплитуда ва фазаи ибтидоӣ муайян карда мешаванд. Шартҳои аввала, ки ҳолати системаи лапандаро дар лаҳзаи вақти $t=0$ муайян мекунад, аз ҷойивазкунии ибтидоӣ ва суръати ибтидоӣ иборат мебошад, яъне дар лаҳзаи $t=0$ бузургҳои $x = x_0$ ва $v = v_0$ муайян карда мешаванд. Фазаи ибтидоӣ бо гузаштани ҷойивазкунии ибтидоӣ ба муодилаи лапишҳо ҳисоб карда мешавад [10, с.195].

Басомади даврии рақосаки пружинӣ аз параметрҳои система, яъне массаи рақосак m ва доимии пружина k вобаста аст:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6)$$

Давраи лапиш инчунин аз рӯи қимати масса ва коэффитсиенти сахтии пружина муайян карда мешавад.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (7)$$

Басомади лапишро дар асоси қиматҳои додашудаи масса ва коэффитсиенти сахтӣ муайян кардан мумкин аст [4, с.160].

$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8)$$

Дар мақолаи мазкур методологияи таҷрибавӣ оид ба насб ва андозагирӣ тавсиф шудааст. Танзимоте, ки дар расми 1 нишон дода шудааст, дорои рақосаки пружинӣ мебошад, ки дар стенд(штатив) насб карда шудааст ва лапиш мекунад. Қисми чапи таҷҳизот панели "Параметрҳои насб"-ро дар бар мегирад, ки барои муқаррар кардани массаи бор ва доимии пружин истифода мешавад. Қисми марказии насб як ҳамвории координатӣ мебошад, ки ҷойивазкунии боркунии пружинаро дар давоми вақт нишон медиҳад.

Расми 1. Равзанаи кори озмоишӣи "Омӯзиши лапишҳои рақосаки пружинӣ



Омӯзиши лаппишҳои рақосаки пружинӣ бо истифода аз асбобҳои виртуалӣ анҷом дода мешавад. Қисми поёнии танзимот сониясанҷеро дар бар мегирад, ки қодир аст вақтро бо сония чен кунад ва дорои хусусиятҳои "оғоз", "таваққуф" ва "аз нав танзимкунӣ" мебошад. Тугмаи "таваққуф" имкон медиҳад, ки кори равшана дар вақти дилхоҳ қатъ карда шавад. Ҳисобкунак барои сабти шумораи лаппишҳо дар тарафи рости сониясанҷ ҷойгир аст. Бо донишони массаи бор ва доимии пружинӣ, давра ва басомади лаппишҳоро бо истифода аз формулаҳои (7) ва (8) ҳисоб кардан мумкин аст. Пас аз ангехтани рақосак ва чен кардани вақти t барои шумораи муайяни лаппишҳо N , даври таҷрибавии лаппишҳо бо истифода аз муодилаи зерин ҳисоб карда мешавад

$$T_T = \frac{t}{N}, \quad (9)$$

ва онро бо қимати назариявии ҳисобшуда, ки тавассути муодилаи (7) ба даст оварда шудааст, муқоиса кардан мумкин аст.

Басомади $\nu_T = \frac{N}{t}$ -ро муайян карда ва онро бо басомади ба даст овардашуда, ки тавассути муодилаи (8) ба даст оварда шудааст, муқоиса мекунем [5, с.175].

Тадқиқоти мазкур ба таври таҷрибавӣ муайян кардани вобастагии басомадро аз массаи бор талаб мекунад ва гузаронидани андозагириро дар массаҳои гуногун зарур мегардонад.

Мақсади гузаронидани таҷриба чунин аст.

Дар аввал омӯзиши вобастагии давраи лаппиш аз массаи рақосак дида баромада мешавад.

1. Параметрҳои m ва k -и рақосаки пружинаро мувофиқи варианти пешниҳодкардашуда муқаррар мекунем.

2. Қимати назариявии давраи лаппиши рақосаки пружинаро бо истифода аз муодилаи (7) ҳисоб карда ва басомади лаппишро бо истифода аз муодилаи (8) ҳисоб мекунем.

Қиматҳои назариявии дари лаппиш ва басомади лаппишро барои панҷ қимати масса муайян карда ба ҷадвали 1 ворид мекунем.

$$T_{1H} = 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{k}} = 2 \times 3.14 \sqrt{\frac{0.74}{6}} = 6.28 \times 0.351 = 2.204.$$

$$T_{2H} = 2.235\text{с}, T_{3H} = 2.293\text{с}, T_{4H} = 2.321\text{с}, T_{5H} = 2.349\text{с}$$

$$\nu_{1H} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2 \times 3.14} \sqrt{\frac{6}{0.74}} = 0.160 \times 2.85 = 0.456\text{с}^{-1}.$$

$$\nu_{2H} = 0.449\text{с}^{-1}, \nu_{3H} = 0.438\text{с}^{-1}, \nu_{4H} = 0.432\text{с}^{-1}, \nu_{5H} = 0.428\text{с}^{-1}.$$



Расми 2. Равзанаи кори озмоишии “Омӯзиши лапишҳои рақосаки пружинӣ

3. Сипас, танзимотро бо пахш кардани тугмаи "Оғоз" ба роҳ монда, пас аз он ҷойивазкунии бори лаишхуранда дар сатҳи координатӣ ҳамчун функсияи вақт нишон дода мешавад. Фосилаи вақт t , ки ба N лапиш пурра мувофиқат мекунад, бояд чен карда шавад, ки ин қатъ кардани равандро (пахш кардани тугмаи "Таваққуф") пас аз тасвири дақиқи N давра талаб мекунад. Дар асоси маълумоти бадастомада, қимати таҷрибавии даври лапишро бо муодилаи зерин ҳисоб мекунем [7, с.25].

$$T = \frac{t}{N} \quad (9)$$

4. Массай рақосакро ба бузургие, ки ба афзоиши муайянкардашуда мувофиқат мекунад, тағир медиҳем. Даври лапиш бояд барои панҷ массай гуногун чен карда шавад, ки ҳар кадоме бо афзоиши муайяншуда фарқ мекунад.

$$T_{T1} = t_1/N = \frac{24.045}{10} = 2.4045\text{с}.$$

$$T_{T2} = 2.346\text{с}, T_{T3} = 2.389\text{с}, T_{T4} = 2.535\text{с}, T_{T5} = 2.419\text{с}.$$

$$\nu_{T1} = \frac{N}{t_1} = \frac{10}{24.045} = 0.416\text{с}^{-1},$$

$$\nu_{T2} = 0.426\text{с}^{-1}, \nu_{T3} = 0.418\text{с}^{-1}, \nu_{T4} = 0.394\text{с}^{-1}, \nu_{T5} = 0.413\text{с}^{-1}.$$

Натиҷаҳои ченкуниро дар ҷадвали 1 дохил мекунем. Муқоисаи қиматҳои даври назариявӣ ва таҷрибавиро бояд анҷом диҳем.

Ҷадвали 1. Муайян кардани давраи ларзиши маятник бо массаҳои гуногун ва коэффитсиенти сахтии доимӣ

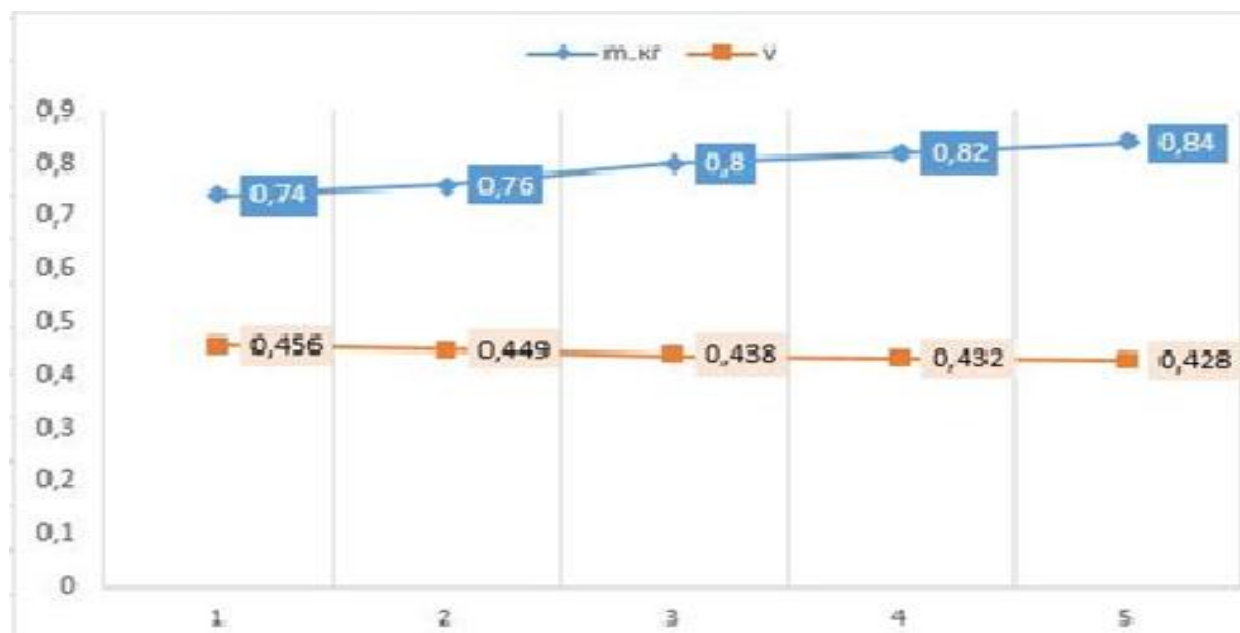
Параметрҳои рақосак		назариявӣ		Адади лаптииҳо	Вақти лаптииҳо	Таҷрибавӣ	
$m, \text{кг}$	$K, \text{Н/м}$	давр $T, \text{с.}$	басомад $\nu, \text{с}^{-1}$	N	$t, \text{с.}$	давр $T_T, \text{с.}$	басомад $\nu_T, \text{с}^{-1}$
0,74	6	2.204	0.456	10	24.045	2.404	0.416
0,76		2.235	0.449	10	23.46	2.346	0.426
0.8		2.293	0.438	10	23.895	2.389	0.418
0.82		2.321	0.432	10	25.35	2.535	0.394
0.84		2.349	0.428	10	24.195	2.419	0.413

Дар рафти таҷрибаи виртуалӣ ёзиши пружина ба таври худкор муайян карда шуд, ки қиматҳои зеринро дорад

$$x_1 = -0.245. x_2 = -0.253. x_3 = -0.245, x_4 = -0.267. x_5 = -0.273$$

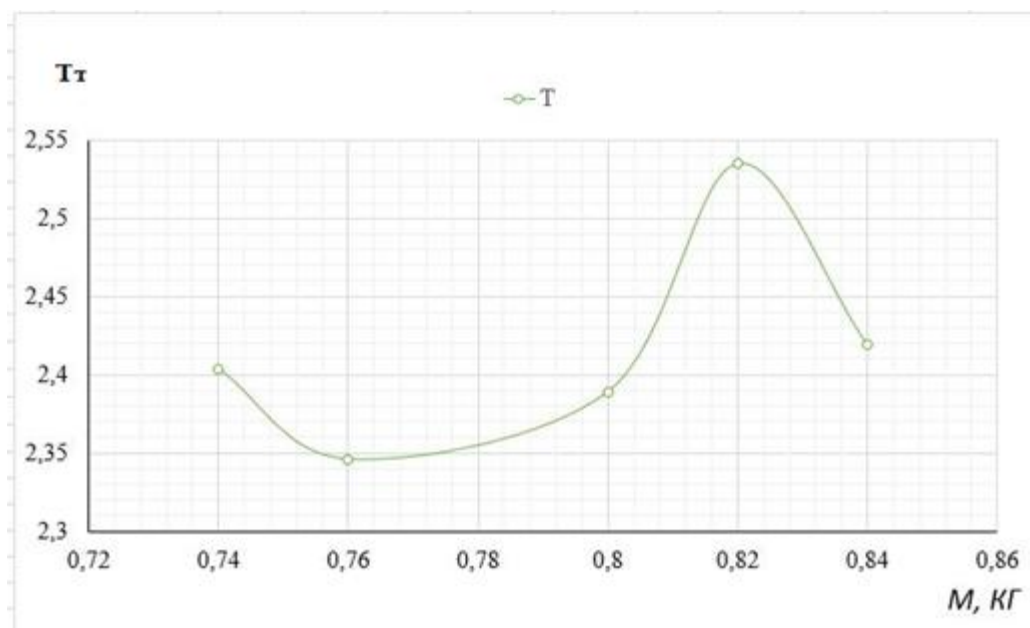
5. Пас аз ин, маълумоти бадастовардaro таҳлил намуда графики вобастагии даври лаптиро нисбат ба масса месозем.

Аз рӯи натиҷаҳои ҳосилшуда, ки дар ҷадвали 1 оварда шудаанд графики вобастагии басомадро аз массаи бор месозем (расми 3).



Расми 3. Тартиқи таҷрибавӣ муайян кардани вобастагии басомад аз массаи бор

Аз график дида мешавад, ки бо афзоиши массаи бор басомад қариб, ки бетағйир мемонад. Аз рӯи натиҷаҳои дар ҷадвали 1 оварда шудаанд графики вобастагии даври лаптиро аз массаи бор, ки тартиқи таҷрибавӣ ҳосил шудаанд месозем (расми 4).



Расми 4. Графики вобастагии даври лапиш тачрибавӣ аз масса

Дар графики расми 4 вобастагии даври лапиш аз массаи бор барои панҷ массаи гуногун чен карда шудааст, ки ҳар кадоме аз массаҳо бо афзоиши муайяншуда фарқ мекунамд.

Адабиёт

1. Кавтрев А. Ф. Компьютерные программы по физике в средней школе. Журнал “Компьютерные инструменты в образовании”, Санкт-Петербург: “Информатизация образования”, й1, с. 42-47, 1998.
2. Дозоров А.В., Дозоров Е.В. Виртуальный лабораторный практикум как одна из эффективных форм урока в инновационной школе: сборник материалов III Международной научно-практической конференции “Организация до вузовской подготовки в условиях проведения Единого государственного экзамена”. - Омск - 2012.- С. 27–31.
3. Александров В. Н. и др. Лабораторный практикум по общей и экспериментальной физике / под ред. Е. М. Гершензона и А. Н. Мансурова. – М.: Академия, 2004. – 464 с.
4. Александров Н. В., Яшкин А. Я. Курс общей физики. Механика. – М.: Просвещение, 1978. – 416 с.
5. Архангельский М. М. Курс физики. Механика. – М.: Просвещение, 1975. – 424 с.
6. Бутиков Е.И. Лаборатория компьютерного моделирования. Журнал “Компьютерные инструменты в образовании”, Санкт-Петербург: “Информатизация образования”, с.26, 1999.

7. *Механика. Часть 1. Механика материальной точки: лабораторный практикум* / авт.-сост.: Т.А. Беляева, П.П. Бобров, В.Н. Красноухова. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2016. – 52 с.
8. Нурализода А. Ғ., Олимӣ А.Р., Алимзода Н. О. Таҳқиқоти ҳодисаҳои физикӣ тариқи моделронии компютерӣ ҳамчун воситаи ҳалли мушкилоти замони муосир. Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. Бахши илмҳои табиӣ 2025. № 4 (34). С.86.
9. *Общая физика: руководство по лабораторному практикуму*: учеб. пособие для студ. вузов / под ред.: И. Б. Крынецкого, Б. А. Струкова. - М.: ИНФРА-М, 2008. - 598 с.
10. Олимӣ А.Р., Алимов Н.О. Механика. Физикаи молекулавӣ ва термодинамика. – Данғара – 2022. – 469 с.

ТАҲҚИҚ ВА ОМУЗИШИ ЛАПИШҲОИ РАҚОСАКИ ПРУЖИННӢ ТАВАССУТИ МОДЕЛРОНИИ КОМПЮТЕРӢ ДАР ФИЗИКА

Ҷишурда. Истифодаи моделҳои ҳодисаҳо ва равандҳои физикӣ, усули муҳими тадқиқотӣ мебошад. Яке аз самтҳои умедбахштарини истифодаи технологияи иттилоотӣ дар таълими физика моделсозии компютерии равандҳо ва ҳодисаҳои физикӣ мебошад.

Дар навбати худ озмоишгоҳи виртуалии ҷисмҳои лапишхуранда як системаи барномаҳои компютерии интерактивӣ мебошанд, ки барои омӯзиши қонунҳои лапишҳои гармоникӣ ва муайян кардани басомад, даври лапишҳо ва таҳлили ҳодисаҳои физикии тарҳрезӣ шудаанд.

Хулоса, мо дар ин мақола кори озмоишии виртуалиро вобаста ба қисми механика дар физика оиди мавзӯи “Таҳқиқ ва омӯзиши лапишҳои рақосаки пружинӣ тавассути моделронии компютерӣ дар физика” дида баромадем.

Ҳадафи ин кор чен кардани параметрҳои динамикӣ ва кинематикии рақосаки пружинӣ, инчунин таҳқиқи вобастагии давраи лапиш аз шароит ва хусусиятҳои ибтидоии системаи лапишхуранда мебошад.

Калидвожаҳо: моделронӣ, лапиш, технологияи иттилоотӣ, озмоишгоҳи виртуалӣ, гармоникӣ, рақосаки пружинӣ, даври лапиш, басомади лапиш, компютер, маркази омӯзишӣ.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА ПОСРЕДСТВОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ФИЗИКЕ

Аннотация. Использование моделей физических явлений и процессов является одним из важных методов научного исследования. Одним из наиболее перспективных направлений применения информационных технологий в обучении физике выступает компьютерное моделирование физических процессов и явлений.

В свою очередь, виртуальная лаборатория колебаний представляет собой систему интерактивных компьютерных программ, предназначенных для изучения законов гармонических колебаний, определения частоты и периода колебаний, а также анализа моделируемых физических явлений.

В данной статье рассмотрена виртуальная лабораторная работа по разделу механики в физике на тему: «Исследование и изучение колебаний пружинного маятника посредством компьютерного моделирования в физике».

Целью работы является измерение динамических и кинематических параметров пружинного маятника, а также исследование зависимости периода колебаний от условий и начальных характеристик колебательной системы.

Ключевые слова: моделирование, колебания, информационные технологии, виртуальная лаборатория, гармонические колебания, пружинный маятник, период колебаний, частота колебаний, компьютер, учебный центр.

RESEARCH AND STUDY OF SPRING PENDULUM OSCILLATIONS USING COMPUTER MODELING IN PHYSICS

Annotation. The use of models of physical phenomena and processes is an important method of scientific research. One of the most promising areas of application of information technology in physics education is computer modeling of physical processes and phenomena.

A virtual oscillation laboratory is a system of interactive computer programs designed to study the laws of harmonic oscillations, determine the frequency and period of oscillations, and analyze simulated physical phenomena.

This article discusses a virtual laboratory project on the topic of "Research and Study of Spring Pendulum Oscillations Using Computer Modeling in Physics" in the section on mechanics in physics.

The aim of the project is to measure the dynamic and kinematic parameters of a spring pendulum and to study the dependence of the oscillation period on the conditions and initial characteristics of the oscillatory system.

Keywords: modeling, oscillations, information technology, virtual laboratory, harmonic oscillations, spring pendulum, oscillation period, oscillation frequency, computer, training center.

Маълумот дар бораи муаллифон: Олимӣ Ашуралӣ Рамазон – д.и.п., н.и.ф.-м., и.в. профессори кафедраи физика ва географияи Донишгоҳи давлатии Данғара. Тел.: (+992) 555-05-09-24. E-mail: olimov_19641@mail.ru.

Набиев Чурабек Ғаниевич – н.и.п., и.в. дотсенти кафедраи физика ва географияи Донишгоҳи давлатии Данғара. Телефон: (+992) 901328601. E-mail: 553555765.j.@mail.ru.

Сведения об авторах: Олими Ашурали Рамазон – д.п.н., к.ф.-м.н., и.о.профессора кафедры физики и географии Дангаринского государственного университета. Тел.: (+992) 555-05-09-24, e-mail: olimov_19641@mail.ru

Набиев Джерабек Ганиевич – к.п.н., и.о.дотсента кафедры физики и географии Дангаринского государственного университета. Телефон: (+992) 901328601. E-mail: 553555765j@mail.ru

Information about the author: Olimi Ashurali Ramazon – Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Acting Professor of the Department of Physics and Geography at Dangara State University. Tel.: (+992) 555-05-09-24, e-mail: olimov_19641@mail.ru

Nabiev Jura-bek Ganievich – Candidate of Pedagogical Sciences, Acting Assistant Professor of the Department of Physics and Geography of the State University of Dangara. Phone: (+992) 901328601. 553555765j@mail.ru

Мақола ба редакция ворид шуд: 08.06.2026

Аз тақриз баргашт: 27.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 29.08.2026

УДК: 536.7: 621.56

ВЛИЯНИЕ ОУНТ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ХЛАДАГЕНТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

Джумаев С.С., *Сафаров М.М.

Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни

***Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими**

Введение

Для удовлетворения современных требований микроэлектроники и оптоэлектроники необходимы новые материалы с разнообразными физическими свойствами. Одной из ключевых задач является синтез и исследование материалов, которые обладают улучшенным взаимодействием между частицами подсистемами, а также разработка на их основе устройств с новыми функциональными возможностями. Изучение взаимосвязей между различными подсистемами твердых наночастиц является существенным аспектом физики конденсированного состояния. Появление материалов, обладающих как тепловыми, так и электрическими свойствами привело к повышению интереса к этой области.

В данной работе исследуется технология получения углеродных нанотрубок различной фракции, структуры, пористости и др. с использованием керамических методов, для чего были изучены их электрические и механические свойства, о чем представлены соответствующие результаты.

Актуальность работы. Для улучшения и оптимизации технологических процессов нужны инженерные расчеты, основанные на знаниях теплофизических и термодинамических свойств веществ в различных состояниях. Теплофизические, термодинамические свойства углеродных нанотрубок изменяющиеся с температурой и фазовыми переходами, необходимы для численных расчетов и решения дифференциальных уравнений процессов теплопередачи. Приближенные данные о свойствах материалов становятся результатом увеличения металлоемкости оборудования и снижения

эффективности в инженерных расчетах. Поэтому выяснение термодинамических и теплофизических свойств углеродных нанотрубок важно для совершенствования технологических процессов [1, с.435-438 - 11, с.13-19.].

Новые технологические процессы при высоких температурах, с наночастицами разного размера и структуры и усилили существующие методы в химической, топливной, машиностроительной, электронной и других отраслях.

Цель работы: исследование термодинамически характеристики углеродных нанотрубок в интервале температур (293-473)К, давлении (0,101-49.01) МПа и концентрации ОУНТ (от 0.1-0.5)%.

Основные методы исследования в работе. Для использованы термодинамические характеристик хладагентов, метод монотонного разогрева, теория подобия, компьютерные прог-раммы Сигмаплот и Exsele. Разработаны методы получения коэффициентов уравнения состояния, а также применены критерии Прандтля, Рейнольдса, Био и модель Ленарда–Джонса.

В работе выполнен литературный анализ по синтезу и классификации измерений термодинамических характеристик растворов на основе хладагентов. Для измерения термодинамических свойств растворов использован метод монотонного разогрева (разработка профессора М.М. Сафарова и др. Патент РТ малые патенты РТ №ТJ 1664 от 11.04.25г. 5с. Общая относительная погрешность измерения теплоемкости при доверительной вероятности $\alpha=0,95$ составляют до 3,5%.

Главным источником теплофизических (теплопроводность и теплоемкость) характеристик хладагентов (изобутана), и в чистом виде, и с различным содержанием наночастиц, на сегодняшний и день считаются экспериментальными данными. Экспериментально полученная информация носит практический и прикладной характер не только для производства, но и для науки при совершенствовании и разработке новых расчетно-теоретических способов изучения теплофизических и термодинамических характеристик хладагентов.

Значения теплоемкости чистого изобутана и его смесей, т.е. с добавлением разной концентрации наночастиц (ОУНТ), обеспечивают надежное развитие и создание передовых технологий, а также и современной теории двухфазных систем; способствует установлению механизма межмолекулярного взаимовлияния в чистых жидких веществах и с добавкой в них наночастиц других материалов, которые позволяют дать разумное объяснение множеству физико-химических и термических явлений, зависящих от молекулярного переноса.

Основные методы исследования. Для проведения научного исследования мы воспользовались методом монотонного разогрева для изучения теплоемкости которая исследована на установке профессора М.М.Сафарова и его учеников.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Составлены подробные таблицы ТФС технически важных веществ (растворов изобутана) при температурах от 293К и до 630К, а также изменении давления от 0,101МПа и до 49,01МПа, которые предложены для применения проектным организациям в различных химико-технологических процессах в теплоэнергети-ческой и машиностроительной промышленности.

2. Результаты проведенных исследований по теплоемкости растворов изобутана внедрены в Институте промышленности Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан при выполнении расчетов модельных реакторов и технологических процессов при создании холодильных установок, а результаты опытов представлены в качестве справочных.

3. Предложенные установки для измерения теплоемкости и теплопроводности растворов используются в научной и учебной лабораториях кафедры «Теплотехника и тепло-энер-гетика» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, на кафедре общей физики Таджикского государственного педагогического университета имени С. Айни различными деятелями разных уровней науки при выполнении диссертационных работ и студентами при выполнении дипломных, курсовых, а также и лабораторных работ.

Степень достоверности результатов. Достоверность проведенных опытных работ обеспечивается:

- использованием испытанных и апробированных измерительных устройств, обладающих хорошей воспроизводимостью опытных результатов, а также и согласованностью опытных данных, как с литературными, так и с результатами расчетных исследований;
- согласием полученных данных с известными параметрами, которые получены по итогам независимых исследований с применением других методик физико-химического анализа;
- полным метрологическим снабжением опытных устройств, адекватным применением теории измерений, теории погрешностей, использованием традиционных устройств; повторимостью полученных результатов; соответствием расчетных данных теплопроводности и теплоемкости с экспериментальными данными;
- корректной математической моделью, отражающей физические процессы и проверенным математическим аппаратом, с помощью которого выполняется численное решение дифференциальных уравнений процесса тепло- и массопереноса [11, с.13-19; 14, с.6-10].

Изобутан (2-метилпропан).

Информация о свойствах хладагента (изобутана), представлена в справочниках, в которых представлены данные по теплопроводности,

плотности, теплоемкости, вязкости изобутана при различных параметрах состояния, включая и линию насыщения.

Основные характеристики изобутана представлены в таблице 1.[1, с.435-438; 2, с.468].

Таблица 1. Основные характеристики изобутана при $T=293\text{ K}$ [3,с.130].

Химическая формула	C_4H_{10}
Молярная масса μ , кг/моль	0,058
Плотность ρ_4^{20} , кг/м ³	560
Показатель преломления n_D	1,3514
Нормальная температура кипения $T_{кип}$, К (при $p=760$ мм.рт.ст.)	261,3
Критическая температура $T_{кр}$, К	408,1
Температура плавления $T_{пл}$, К	113,8
Критическая плотность $\rho_{кр}$, кг/м ³	221
Критическое давление $P_{кр}$, МПа.	3,53
Давление насыщенных паров P , МПа	4,962

Основные характеристики углеродных нанотрубок

Главные показатели углеродных нанотрубок, предоставленных нам из г. Тамбова (ТГТУ) приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики одностенных углеродных нанотрубок.

Характеристики	Объем
Наружный диаметр, нм	10÷60
Внутренний диаметр, нм	10÷20
Длина, μm	2 и более
Чистота (%), включая аморфный углерод	от 1,50.3÷0.5
Массовая плотность, г/м ³	0.4÷0.5
Удельная геометрическая поверхность, А	120 и более
Термическая стабильность, К	До 700
Средний объем поры, мм ³	0,22
Средний размер поры, А	70

Представлены результаты исследования наножидкостей системы изобутан (2-метилпропан) + ОУНТ и МУНТ при температурном диапазоне, охватывающем область (293-693)К и давления в области от 0,101 до 49,01МПа (таблица 3). Этот параметр для наших образцов, также как и для других жид-

костей, растворов, различных наноотделок, твердых и сыпучих материалов при разных температурах и давлениях, концентрациях наполнителей, измерялся методиками, предложенными еще профессором Платуновым Е.С. (Россия, Санкт Петербург), Мустафаевым Р.А. (Азербайджан, Баку), Амирхановым А. (Россия, Махачкала), Гусейновым К.Д. (Азербайджан, Баку), Сафаровым М.М. (Таджикистан, Душанбе), Питером Гаалом (США), Де Кастро (Португалия) и другими.

Таблица 3. Удельная изобарная теплоемкость ($C_p, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$) системы х.ч. изо-бутана (2-метилпропана) от концентрации углеродных наночастиц после истечения 50 часов при различных температурах и давлениях.

Т, К 1	Давление Р, МПа					
	2	3	4	5	6	7
	0,101	9,81	19,62	29,43	39,32	49,01
<i>Образец №1. -х.ч. изобутан (2-метилпропан) без добавки углеродных одностенных нанотрубок</i>						
293	1618	1560	1535	1490	1435	1405
313	1725	1630	1600	1540	1490	1470
333	1790	1715	1690	1630	1565	1546
353	1872	1800	1760	1700	1645	1620
373	1980	1885	1840	1782	1725	1695
393	2090	1980	1930	1865	1806	1760
413	2186	2040	2006	1940	1885	1846
433	2270	2135	2090	2015	1958	1935
453	2356	2212	2170	2090	2040	2003
473	2440	2300	2250	2165	2120	2070
493	2575	2400	2335	2242	2200	2150
513	2618	2470	2400	2320	2285	2238
533	2680	2540	2480	2390	2350	2300
553	2765	2625	2550	2475	2425	2366
573	2835	2700	2635	2545	2484	2428
593	2920	2770	2700	2610	2550	2480
613	2980	2850	2770	2685	2608	2536
633	3050	2910	2830	2732	2665	2580
653	3130	2940	2900	2795	2710	2640
673	3170	3015	2940	2836	270	2670
693	3215	3065	2985	2878	2814	2715
<i>Образец №2-х.ч. изобутан (2-метилпропан) +0,5% углеродных одностенных нанотрубок</i>						

293	2120	2022	1936	1850	1795	1728
313	2200	2080	1970	1895	1854	1790
333	2260	2155	2070	1982	1925	1845
353	2350	2234	2140	2065	1990	1936
373	2440	2315	2290	2140	2085	2000
393	2535	2400	2374	2218	2140	2075
413	2580	2454	2400	2292	2210	2140
433	2690	2550	2480	2368	2285	2210
453	2790	2635	2550	2455	2360	2296
473	2875	2700	2625	2518	2440	2380
493	2973	2800	2700	2600	2510	2448
513	3080	2865	2785	2675	2565	2508
533	3135	2940	2850	2720	2640	2574
553	3210	3025	2930	2818	2725	2650
573	3285	3100	3000	2890	2794	2725
593	3370	3185	3060	2965	2860	2790
613	3430	3278	3140	3028	2925	2856
633	3500	3340	3190	3080	2980	2908
653	3554	3400	3250	3136	3034	2949
673	3600	3500	3315	3170	3080	2970
693	3650	3590	3360	3208	3115	3008
<i>Образец №3-х.ч. изобутан (2-метилпропан) +1,0% одностенных углеродных нанотрубок</i>						
293	2210	2130	2040	1980	1920	1860
313	2296	2200	2085	2030	1975	1910
333	2365	2275	2172	2109	2045	1975
353	2450	2330	2240	2194	2125	2050
373	2540	2416	2375	2260	2186	2125
393	2635	2492	2476	2340	2255	2180
413	2718	2550	2490	2410	2324	2264
433	2780	2630	2565	2485	2378	2339
453	2865	2718	2644	2568	2469	2410
473	2970	2800	2720	2635	2539	2470
493	3060	2860	2800	2710	2606	2550
513	3150	2935	2880	2790	2687	2628
533	3210	3026	2940	2835	2746	2690
553	3300	3100	3010	2928	2818	2750
573	3380	3170	3080	3006	2884	2838
593	3450	3260	3140	3075	2956	2890

613	3545	3335	3200	3128	3008	2940
633	3575	3400	3270	3184	3069	3000
653	3645	3455	3350	3218	3125	3035
673	3700	3500	3410	3258	3160	3070
693	3752	3650	3450	3300	3200	3095
<i>Образец №4-х.ч. изобутан (2-метилпропан) +1,5% одностенных углеродных нанотрубок</i>						
293	2350	2260	2120	2109	2045	1960
313	2415	2312	2190	2160	2092	2010
333	2480	2384	2240	2225	2160	2075
353	2565	2458	2315	2300	2234	2140
373	2660	2520	2452	2386	2300	2220
393	2750	2600	2480	2450	2365	2290
413	2780	2670	2540	2520	2428	2360
433	2875	2735	2638	2590	2486	2417
453	2900	2815	2710	2685	2550	2500
473	3080	2900	2780	2730	2635	2580
493	3175	2970	2875	2800	2700	2648
513	3255	3040	2935	2875	2770	2714
533	3312	3116	3010	2925	2836	2785
553	3410	3200	3090	3010	2900	2850
573	3500	3250	3170	3100	2948	2930
593	3560	3335	3200	3155	3035	2980
613	3680	3400	3255	3250	3086	3050
633	3680	3470	3300	3290	3140	3100
653	3740	3535	3420	3310	3207	3145
673	3790	3630	3476	3348	3244	3158
693	3840	3700	3540	3375	3255	3170
<i>Образец №5-х.ч. изобутан (2-метилпропан) +2,0% одностенных углеродных нанотрубок</i>						
293	2450	2380	2260	2224	2164	2095
313	2540	2420	2300	2270	2200	2140
333	2600	2500	2380	2340	2270	2200
353	2688	2560	2430	2418	2330	2280
373	2785	640	2570	2470	2400	2350
393	2880	2710	2620	2560	2466	2407
413	2950	2770	2675	2624	2535	2475
433	3030	2840	2750	2686	2590	2540
453	3110	2910	2825	2760	2670	2620
473	3200	3050	2900	2780	2725	2670

493	3280	3130	2990	2900	2806	2740
513	3370	3200	3060	2950	2859	2820
533	3440	3288	3130	3005	2930	2870
553	3530	3340	3210	3085	3000	2940
573	3610	3400	3280	3160	3050	3000
593	3680	3490	3350	3210	3114	3056
613	3740	3500	3400	3280	3175	3108
633	3790	3550	3436	3325	3230	3156
653	3850	3610	3470	376	3279	3195
673	3890	3700	3580	3410	3318	3234
693	3930	3780	3630	3435	3355	3258
<i>Образец №6-х.ч. изобутан (2-метилпропан) +2,5% одностенных углеродных нанотрубок</i>						
293	2560	2510	2390	2336	2275	2185
313	2645	2550	2430	2376	2320	2229
333	2726	2630	2500	2450	2375	2300
353	2800	2700	2576	2524	2440	2368
373	2890	2775	2670	2590	2510	2440
393	2970	2840	2700	2660	2630	2490
413	3040	2890	2750	2725	2670	2576
433	3120	2970	2800	2755	2700	2639
453	3205	3030	2875	2850	2760	2700
473	3286	3116	2940	2910	2830	2764
493	3375	3180	3036	2985	2889	2835
513	3450	3250	3100	3060	2950	2900
533	3525	3320	3170	3094	3000	2950
553	3620	3380	3250	3180	3075	3034
573	3690	3460	3310	3254	3146	3096
593	3765	3540	3450	3320	3180	3140
613	3820	3610	3490	3360	3250	3179
633	3880	3660	3540	3408	3300	3234
653	3940	3700	3580	3445	3356	3260
673	3970	3790	3640	3486	3400	3305
693	4010	3886	3730	3510	3440	3326

В соответствии с экспериментально-теоретическими исследованиями термодинамических характеристик жидкого изобутана и Н-бутана носит характер температурной зависимости, а также давления и концентрации ОУНТ. Согласно полученным результатам, эти параметры при повышении температуры уменьшаются, и наоборот, при росте давления данные показатели увеличиваются. Например, при выдержке раствора (х.ч. изобутан (2-

метилпропан) + 2,5% ОУНТ) в течение 50 часов со времени добавки нанотрубок, в условиях комнатной температуры 298К и давления до 49,01МПа, значение теплоемкости снижается до 14,6%, а при температуре 693К это изменение доходит до 17,1% (таблица 3.) [12, с.62; 14, с.6-10].

Используя экспериментальные данные по теплоемкости исследуемых растворов на основе закона термодинамического подобия и закона соответствующих состояний, нами получен следующее аппроксимационное уравнение.

$$C_p = \left[0,87 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 0,13 \right] (6,89P + 2452), \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})} \quad (1)$$

Где, $T_1=513\text{К}$ и значение давления опытов (0.101 до 49.01) МПа

С помощью уравнения (1) можно рассчитать удельную изобарную теплоемкости исследуемых нанорастворов при различных температурах, давлениях и концентрации наночастиц, т.е. однослойных углеродных нанотрубок.

Заключение

Теплоемкость является одним из важнейших параметров жидкостей, суспензий и наножидкостей, которые широко применяются в инженерных расчетах для создания и разработок новых трансформаторов тепла, машин и механизмов, а также систем тепло- и хладоснабжения и их КПД, при определении активности компонентов, исследовании теплоотдачи без кипения жидкости в тракте охлаждения и др.

Применение результатов опытов и полученной математической модели, в значительной степени позволило уменьшить затраты на приобретение дорогого оборудования для выполнения соответствующих экспериментов. На основе полученных результатов по теплофизическим свойствам наножидкостей и полученной модели был введен ряд расчетных зависимостей для определения теплоемкости при изменениях температуры, давления и концентрации углеродных нанотрубок (ОУНТ и МУНТ), что дало возможность бесприпятственно и эффективно создать конструкции и в соответствующих теплотехнических расчетах в металлургии, машиностроении, энергетике, системах конденсирования и в других отраслях.

Полученные результаты исследования теплоемкости изучаемых хладагентов, позволили установить основные закономерности изменения данных параметров в зависимости от изменения параметров состояния и концентрации нанотрубок.

Экспериментальным способом было впервые изучено изменение теплоемкости хладагентов системы х.ч. изобутан (2-метилпропан) + одностенные углеродные нанотрубки в области изменения температур (293-673)К и давления (0,101- 49,01) МПа.

Применяя теорию подобия (закон соответственных состояний) нами выведен ряд аппроксимационных уравнений, позволяющих дать логичное

объяснение изменению теплоемкости изучаемых систем в результате влияния температуры.

Литература

1. *Zaripova M.A.* Experimental study of the thermal conductivity of Hydrazinhydrate at high value softhesta teparameters /М.М.Safarov, М.А. Zaripova //Measu-rement Techniques, Volume 36.Number 4.- 1993. -P. 435-438.
2. *Rossini F.D., Pitzer K.S., Arnett R.L., Braun R.M., Rimentel G.C.* Selected value of physical and thermodynamic properties of hydrocarbons and releted compounds, Pittsburg, USA, -1953.-p.468.
3. *Сафаров М.М.* Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления. / Махмадали Махмадиевич Сафаров//Дис. д-ра техн. наук. Душанбе, 1993. –495 с.
4. *Сафаров М.М.* Теплофизические свойства простых эфиров в широком интервале параметров состояния (теплопроводность и плотность). Монография /М.М. Сафаров, К.Д. Гусейнов.// Душанбе. - 1996. –196с.
5. *Тиллоева Т.Р.* Теплофизические и термодинамические свойства коллоидного водного раствора наносеребра/ дис..к.т.н., Казань, 2016, 160с.
6. *Safarov M.M.* Heat conductivity of organic liquids containing Oxygen and Water Muxtures of Hydrazine in Wide State.//М.М. Safarov,М.А. Zaripova, М.Т. Turgunboev. / 23 –Thermal Conductivity, 29 oct.-1 Nov. 1995, - USA, - OakRidg, -P. 126.
7. *Сафаров М.М.* Теплопроводность водных растворов диметил гидразина в широком интервале температур и давлений. //М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, М. Т. Тургунбоев./ИФЖ.-Т.71,- №2.-1998,- Минск,-С.375-383.
8. *Зарипова М.А.* Теплопроводность относительно чистых нанокристаллических нанопорошков, изготовленных из непереходных и переходных металлов.//М.А.Зарипова, М.М.Сафаров, Иман Бахроми Маниш, Т. Р.Тиллоева, Б.М. Махмадиев /Сборник 3 Международной научно-технической конференции “Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ”. -2015. -С.69-70.
9. *Зарипова М.А.* Применение критериев Нуссельта для обработки экспериментальных данных и определение коэффициента теплоотдачи./М.А. Зарипова, Т.Р.Тиллоева, Х.А.Зоиров и др. //Материалы республиканской научно-практической конференции

«Современные проблемы химии, хими-ческой технологии и металлургии». – 2009.-С.39-41.

10. Платунов Е.С. Теплофизические измерения/Е.С. Платунов, С.Е. Буравой,В.В. Курепин, Г.С. Петров.//Под общ.ред. Платунова Е.С. – Л.: -1986. –256с.
11. Сафаров М.М. Влияние углеродной нанотрубки (УНТ) и температуры на изменение теплопроводности диэтилового эфира в закритической области/ М. М. Сафаров, М.М.Гуломов, М.А. Зарипова.//Измерительная тех-ника -2015.-С.13-19.
12. Джумаев С.С. Влияние фуллеренов C_{60} и C_{70} на изменение тепловой активности паров углеводородных теплоносителей./ Джумаев С.С., Сафаров М. М.,Тиллоева Т.Р., Гортышов И.Ф. / Вестник филиала МТУ им. М. В. Ломо-носова в г. Душанбе, Серия Естественных наук, 2019, 1.3-(3). С-.62.
13. Джумаев С.С., Влияние одностенных углеродных нанотрубок на изменение изобарной теплоемкости Н- бутана в газообразном и жидкой фазе. Вестник. Технический университет Таджикистана 4(47), 2021, Душанбе, -С. 23-29.
14. Jumaev S.S. Influence of C_{60} and C_{70} fullerenes on the change of thermal activity of vapors of hydrocarbon heat carriers // T.R.Tilloeva, M.M.Safarov, S.S. Jumayev, M.M.Gulomov, N.E.Jumayeva, Z.Yu.Norov. /IARIA, 2 CFP, ICQNM-2020, 15 - 19 November, 2020, Ispane, Valenciya, 2020, p.

ВЛИЯНИЕ ОУНТ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ХЛАДАГЕНТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

Аннотация. В работе приводятся результаты экспериментально - теоретического исследования теплоемкости характеристик композитных материалов при различных температурах. т.е. (293-473)К, давлениях (0,101-49.01)МПа и концентрация углеродных нано-трубок. Экспериментальные данные получены на разработанной экспериментальной установки, которая нами запатентована (малые патенты РТ №ТJ 1664 от 11.04.25г.5с.).

Ключевые слова: теплоемкость композитных материалов, температура, углеродные нанотрубки, концентрация.

ТАЪСИРИ НАНОНАЙЧАҲОИ КАРБОНӢ БА ТАҒЙИРӢБИИ ҲАРИМИҒУНҶОИШИ ҲОСИ ХЛАДАГЕНТҲО ВОБАСТА БА ҲАРОРАТ ВА ФИШОР

Фишурда. Дар мақолаи мазкур натиҷаҳои таҷрибавӣ ва назариявӣ ҳосиятҳои гармофизикӣ (коэффитсиенти гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши ҳос, коэффитсиенти ҳароратгузаронӣ ва электрофизикӣ (электрогузаронӣ, муқовимати ҳос) маводҳои тадқиқоти (маводҳои композитсионии

мультифериодҳо) дар асоси оксиди титан дар ҳароратҳои гуногун (293-473)К ва концентратсияҳои титанати барий, титанати курғошим, титанати стронций. Натиҷаҳои таҷрибавӣ дар дастгоҳҳо, ки мо сохтаем ва дар асоси онҳо ихтироотҳоро амалӣ намудаем (Патентҳои хурди ҚТ №ТЈ 1523, 2024.5с, №ТЈ 1185, 2021.5с ва №ТЈ 1186, 2021., 5с.).

Калидвожаҳо: коэффитсиенти гармигузаронӣ, гармиғунҷоиши хос ва ҳароратгузаронӣ, электрогузаронӣ, маводҳои композитсионии мультифериодӣ, ҳарорат, концентратсия.

THERMOPHYSICAL AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF MULTIFRIODE COMPOSITE MATERIALS BASED ON TITANIUM DIOXIDE

Annotation. The paper presents the results of experimental and theoretical study of thermophysical and electro physical characteristics (coefficient of thermal conductivity, heat capacity and thermal diffusivity) of multiferiode composite materials at different temperatures. i.e. (293-473) K and concentration of barium titanate, lead, strontium. Experimental data were obtained for the developed experimental installation, which we patented (small patents RT NoTJ 1523, 2024, 5с, NoTJ 1185, 2021, 5с, and NoTJ 1186, 2021, 5с).

Keywords: coefficient of thermal conductivity, heat capacity and temperature conductivity, electrical conductivity, multiferiode composite materials, temperature, concentration.

Сведение об авторах: *Джумаев Саиджаҳфар Сафаралиевич* – старший преподаватель кафедры общей физики Таджикского государственного педагогического университета имени С.Айни. Адрес: 734003, Республика Таджикистан, г.Душанбе, проспект Рудаки 121, E-mail: Saidchakhfar@mail.ru.

Сафаров Махмадали Махмадиевич – Заслуженный деятель науки и техники Таджикистан, д.т.н., профессор, профессор кафедры Техники и теплоэнергетики, Таджикский технический университет имени акад. М.С.Осими. Тел.: (+992) 93 163 15 85. E-mail: mahmad1@list.ru.

Маълумот дар бораи муаллифон: *Чумъаев Саидҷаҳфар Сафаралиевич* – муаллими калони кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни. Суроға: 734002, ш. Душанбе кучаи. Рудаки, 121. E-mail: Saidchakhfar@mail.ru.

Сафаров Маҳмадалӣ Маҳмадиевич - ходими барҷастаи илму техникаи Тоҷикистон, д.и.т., профессор, профессори кафедраи муҳандисӣ ва энергетикаи ҳароратии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. Тел.: (+992) 93 163 15 85. E-mail: mahmad1@list.ru.

Information about the authors: *Jumaev Saidzhakhfar Safaralievich* – Senior Lecturer at the Department of General Physics, Tajik State Pedagogical University named after Sadriddin Ayni. Address: 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue 121. E-mail: Saidchakhfar@mail.ru.

Safarov Makhmadali Makhmadievich – Honored Worker of Science and Technology of Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Engineering

Мақола ба редакция ворид шуд: 08.06.2026

Аз тақриз баргашт: 27.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 29.08.2026

УДК 539.2: 621.382.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИФФУЗИОННЫХ Si-p-n ДЕТЕКТОРОВ**

Гаибов А.Г., Вахабов К.И., Химматкулов О.,

***Исламов Б.Х., **Шаимов Э.Д., **Акобирова А.Т.**

Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова

***Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности**

****Таджикский национальный университет**

Введение

При наличии в объеме полупроводника примесей или дефектов структуры кристаллов в запрещенной зоне возникают локализованные состояния. Такие состояния могут быть центрами захвата (ловушками) для носителей заряда.

Иногда, вследствие различных причин, в объеме полупроводника возникают скопления точечных дефектов, представляющие собой крупномасштабные ловушки (КМЛ) с довольно высокими значениями сечений захвата до 10^{-12} см². Такая неупорядоченность распределения концентрации точечных дефектов в объеме кристалла приводит к возникновению случайных полей, влияющих на процессы переноса заряда в полупроводниковых приборах. Таким образом, исследование таких скоплений дефектов представляется интересным и важным с точки зрения их природы, механизма образования и степени влияния на характеристики полупроводниковых приборов. Одним из таких приборов является полупроводниковый детектор на основе кремния, исследование характеристик которого позволяет получить информацию о природе и структуре локальных неоднородностей. Изучение влияния внешних факторов, в том числе ультразвуковых полей на характеристики полупроводниковых детекторов чрезвычайно интересен тем, что под его влиянием, как показано в работах многих авторов [3, с.317-324], может возникать множество различных акустостимулированных явлений в полупроводниках и структурах на их основе, изменяющих их различных свойств [4, 5].

В связи с этим данная работа посвящена экспериментальным исследованиям влияния электрических полей и ультразвуковых волн на электрофизические характеристики диффузионных Si-p-n-детекторов.

Экспериментальные исследования

Исследуемые нами Si-p-n детекторы были изготовлены путём диффузии фосфора в пластинки p-Si с последующем напылением Au и Al на обе стороны пластинки по методике, используемой в работе [2, с.1130].

Из проведенных ранее исследований [2, с.1130] следует, что форма спектральной линии зависит от множества процессов, происходящих в объеме детектора и таким образом, несет информацию и о свойствах исходного материала.

Поэтому анализ формы амплитудного спектра позволяет определить характер потерь неравновесных носителей заряда (ННЗ) и параметры центров захвата, зависящих от их концентрации n_t , сечения захвата σ и тепловой скорости v_T . Величина постоянной захвата τ_3 определяется следующим выражением:

$$\tau_3 = 1/n_t \sigma v_T \quad (1)$$

Постоянная захвата в свою очередь определяет уменьшение амплитуды зарядового сигнала детектора, так как идут потери неравновесных носителей заряда $\lambda = t_{др}/n\tau_3$ вследствие захвата на ловушки ($t_{др}$ -время дрейфа, n -численный коэффициент).

Величина λ зависит от времени дрейфа $t_{др}$ и времени жизни неравновесных носителей заряда τ :

$$\lambda = t_{др}/3\tau = d/3\tau \cdot v_{др} = d/3\tau \cdot \mu \cdot E \quad (2)$$

где d -толщина рабочей области детектора; μ -подвижность носителей; E -напряженность электрического поля; $v_{др}$ -дрейфовая скорость носителей заряда.

Для зависимости $v_{др}(E)$ также имеется аппроксимирующее выражение [6, с.145; 2, с.1130]

$$v_{др} = v_s/(1+v_s/\mu_0 E), \quad (3)$$

где v_s - предельное значение дрейфовой скорости, μ_0 - подвижность в слабых полях.

Если в объеме детектора существуют одиночные центры захвата, то величина $d/3\tau$ не зависит от E , так как увеличение τ происходит в полях превышающих 4 кВ/см. Поэтому в этом случае зависимость $\lambda = f(1/E) \equiv f(1/v_{др})$ должна иметь линейный вид, а ее экстраполяция к $E \rightarrow \infty$ ($v_{др} \rightarrow \infty$) приводит в точку $\lambda = 0$, что свидетельствует о захвате на одиночные центры.

Наклон данной зависимости позволяет определить величину τ . Изменение τ в области полей $E < 4$ кВ/см указывает на наличие в рабочем

объеме детектора крупномасштабных флуктуаций потенциала, связанных с КМЛ и зависимость λ ($1/E$) в этом случае отличается от линейной.

Авторами [7, с.485-486] делается вывод, что при исследовании $\lambda = f(1/E)$ необходимо учитывать полевую зависимость времени жизни носителей заряда $\tau = \tau(E)$.

Действительно, для $\tau(E)$ ожидаемая зависимость для величин $E > E_s$ (E_s - электрическое поле, при котором наблюдается насыщение дрейфовой скорости) должна иметь вид:

$$\tau \sim E^{5/2}, \quad (4)$$

что характерно для кулоновского притягивающего глубокого центра [8, с.383-399.].

С целью определения механизма переноса носителей заряда, обусловленного существованием крупномасштабных ловушек, исследовались зависимости потерь заряда $\lambda = (1 - Q)$ (где Q -собираемый заряд) от напряжённости электрического поля. Для нахождения потерь заряда наблюдались амплитудные спектры при облучении детекторов α -частицами изотопа ^{241}Am . На анализаторе при этом исследовалось перемещение от поля номера канала для амплитуды, разделяющей площадь спектра пополам. Данная амплитуда отражает средние значения собираемого заряда и определяется как $Q = 1 - \lambda^1$, где λ^1 - средние значения потерь заряда. Далее строится зависимость λ^1 как функция $1/E$.

Хорошо известно, что в общем случае потери определяются как:

$$\lambda \approx \frac{d}{\tau V_{dr}} \quad (5)$$

где d -толщина чувствительной рабочей области, τ -время жизни носителей. Для зависимости $V_{dr}(E)$ также имеется аппроксимирующее выражение

$$V_{dr} = \frac{V_s}{1 + \frac{V_s}{\mu_0 E}} \quad (6)$$

где V_s - предельное значение дрейфовой скорости, μ_0 - подвижность в слабых полях. Результаты построения функции $\lambda(1/E)$, при учёте выше отмеченного, представляются в виде прямых линий, что характерно для потерь на одиночных центрах. Полученные нами экспериментальные зависимости $\lambda(1/E)$ представлены на рис.1 и свидетельствуют о неоднородности материала. Линейность этих зависимостей и отклонение от неё указывают на существование в чувствительной области детекторов как одиночных, так и крупномасштабных центров захвата, соответственно.

Следовательно, анализ зависимости λ ($1/E$) позволяет нам определить, какие физические механизмы ответственны за изменение потерь заряда

(амплитуды сигнала) в определенных областях напряженностей электрических полей E .

Полученные нами экспериментальные зависимости $\lambda(1/E)$ до и после облучения детектора ультразвуковыми волнами приведены на рис.2. Из рисунка (кривая 1) следует, что потенциальный рельеф чувствительной области детектора является неоднородным.

Во-первых, наблюдается отчётливое отклонение от линейности, проявляющееся в виде ступеней в определенных интервалах напряженностей электрических полей вплоть до $E \approx 1,5$ кВ/см. Разрешаются три ступени: первая ступень – интервал $E_1 \approx (0,384 \div 0,500)$ кВ/см; вторая ступень- интервал $E_2 \approx (0,500 \div 0,714)$ кВ/см и третья ступень - интервал $E_3 \approx (0,714 \div 1,470)$ кВ/см.

Во-вторых, при наблюдаемых значениях напряженности электрического поля $E_4 > 1,470$ кВ/см происходит резкое уменьшение потерь заряда λ . Данный участок зависимости $\lambda(1/E)$ имеет линейный вид, что совпадает с теоретическими выводами об увеличении времени жизни с ростом напряженности электрических полей, при которых дрейфовая скорость выходит на насыщение и далее приобретает максимальное значение v_s .

Анализ показывает, что в этом интервале электрических полей ($E_4 > 1,470$ кВ/см) уменьшение величины λ связано только с ростом E , так как при данных значениях E величина скорости $v \sim \text{const}$. То есть можно сделать вывод, что в рассматриваемых интервалах электрических полей $\Delta E_4 \sim (1,470 \div 3,33)$ кВ/см величина τ пропорциональна напряжённости электрического поля E и не соответствует зависимости $\tau(E) \sim E^{5/2}$.

Этот важный экспериментальный факт можно объяснить только тем, что потенциал центров захвата является не кулоновским, а имеет вид $U \sim 1/r^2$. Это вывод подтверждается и тем, что в электрических полях E меньше 1,470 кВ/см происхождение «ступеней» связано с наличием в чувствительной области скоплений примесных атомов, захватывающих дрейфующие носители заряда.

В противном случае наблюдалась бы линейная зависимость $\lambda(1/E)$ для электрических полей $E < E_s$, что характерно для процессов захвата носителей одиночными примесными центрами (ОПЦ).

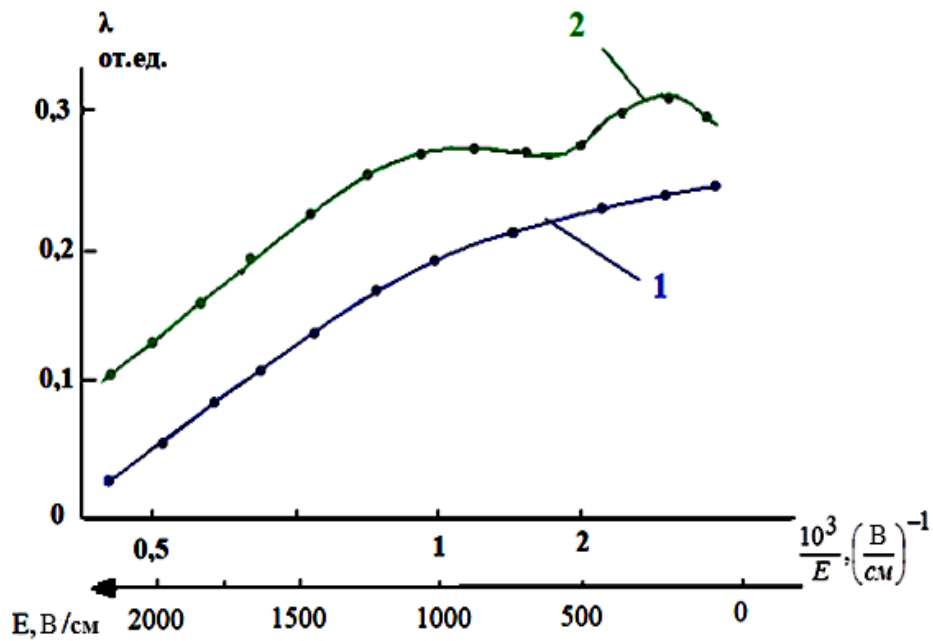


Рис.1. Полевые зависимости потерь заряда диффузионных Si-n-p-детекторов при $T = 300\text{K}$: 1-Si-n-p-детектор с одиночными (точечными) центрами захвата; 2- Si-n-p-детектор с «крупномасштабными» центрами захвата.

Эффект замедления величины τ (вместо ожидаемой зависимости $\tau \sim E^{5/2}$) не может быть связан с рассеянием носителей на оптических фононах, так как при таких значениях напряженностей электрических полей возникновение последних мало вероятно, что отмечалось и другими исследователями [7, с. 485-486.].

Вторым важным моментом является изменение полевых зависимостей потерь заряда $\lambda(1/E)$ после облучения диффузионного-Si-n-p-детектора ультразвуковыми волнами с частотой $f = 15\text{МГц}$ и интенсивностью $I^* = 0,4\text{W/см}^2$ в течение времени $t = 45$ минут.

На рисунке 2 (кривая 2) можно отчётливо наблюдать сглаживание «ступеней» зависимости $\lambda(1/E)$, характеризующих отдельные микрообъёмы чувствительной области детектора, где ранее происходил сильный захват неравновесных носителей заряда (рис.2 кривая 1). Время нарастания зарядовых импульсов (равное времени дрейфа $t_{\text{др}}$ носителей через чувствительную область до контакта) уменьшилось довольно существенно с величины $t_{\text{др}} = d_1/v_{\text{др}} = 0,0271 \cdot 10^{-4}\text{см}/5 \cdot 10^6\text{см/с} = 542\text{нс}$ до величины $t_{\text{др}} = d/v_{\text{др}} = 0,0257 \cdot 10^{-4}\text{см}/5 \cdot 10^6\text{см/с} = 515,2\text{нс}$. Значение $v_{\text{др}}$ равное $5 \cdot 10^6\text{см/с}$ выбрано для областей электрических полей $E < E_s$, то есть, здесь не наблюдается разогрев неравновесных носителей заряда в сильных электрических полях. В представленном диффузионном-Si-n-p-детекторе потери заряда в основном связаны с локальными скоплениями

примесных атомов. Эти потери в общем случае определяются размером и концентрацией таких скоплений и не зависят от величины дрейфовой скорости носителей $v_{др}$ [1; 9, с.3-6]

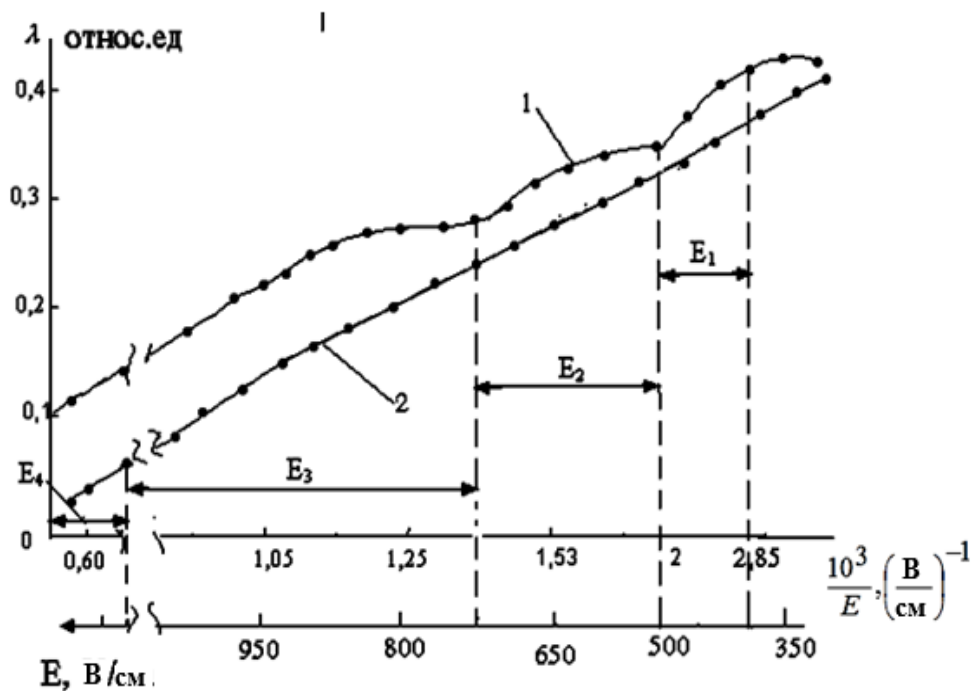


Рис.2. Полевые зависимости потерь заряда Si-n-p-детектора до (кривая 1) и после облучения ультразвуковыми волнами интенсивностью $I^* = 0.4 \text{ W/cm}^2$, $f = 15 \text{ МГц}$ в течение $t = 45 \text{ мин}$ (кривая 2). $T = 300 \text{ K}$.

Таким образом, наблюдаемое уменьшение потерь заряда (сглаживание «ступеней»), уменьшение времени дрейфа позволяет сделать следующие выводы. Под воздействием ультразвукового поля происходит: 1) уменьшение эффективных размеров и концентрации локальных неоднородностей в чувствительной области диффузионного-Si-n-p-детектора; 2) увеличение подвижности носителей заряда (из-за эффекта сглаживания потенциального рельефа); 3) увеличение времени жизни носителей τ во всем интервале исследуемых электрических полей (из-за эффекта уменьшения концентрации электрически активных центров захвата и уменьшения геометрических размеров таких крупномасштабных ловушек, обусловленных существованием локальных скоплений примесных атомов). Вывод об увеличении размеров чувствительной области, изменении размеров и концентрации локальных неоднородностей согласуется с экспериментальными результатами измерений параметров локальных неоднородностей фазочастотным методом, изложенным в работе [10, с.258].

Заключение

Исследования полевых и температурных зависимостей потерь заряда позволяют идентифицировать одиночные атомы и их скопления, выступающие в роли центров захвата носителей заряда. В электрических полях $E > 1470$ В/см происходит эффективное уменьшение процессов захвата, что проявляется в виде спрямлении полевых зависимостей потерь заряда и в сужении спектральных линий. Ультразвуковое поле интенсивностью $I^* = 0,4$ Вт/см² и частотой $f = 15$ МГц, воздействуя на образцы в течение времени $t \leq 45$ минут, приводит к уменьшению эффективных размеров и концентрации локальных неоднородностей в чувствительной области исследуемого диффузионного-Si-п-р-детектора, увеличению подвижности носителей заряда, а также увеличению времени жизни носителей τ во всем интервале исследуемых электрических полей. Следовательно, наблюдаемые такие изменения приводят к росту амплитуды формируемого сигнала и улучшению энергетического разрешения исследуемых детекторов. Подобное необратимое изменение характеристик Si - п-р-приемников происходит из-за распада скоплений примесных атомов в ультразвуковом поле. В результате происходит сглаживание потенциального рельефа в объеме чувствительной области, что способствует более эффективному и быстрому сбору неравновесных носителей заряда на электрические контакты Si-п-р-приемников излучения. При этом, как показывают расчёты, примерно до 4-5% сокращается, время сбора носителей заряда.

Литература:

1. *Erdogan R.T., Lopez-Rodriguez B., Westerveld W.J., Iskander-Rizk S., Verbiest G.J., Zadeh I.E., & Steeneken P.G. Amorphous silicon-carbide photonics for ultrasound imaging. Communications Physics*, Vol. 9, Article 25, 2026.**DOI:** 10.1038/s42005-025-02456-9
2. *Kamal A., Hong S., Ju H.* “Advances in Silicon-Based UV Light Detection,” *Micromachines*, vol. 16, no. 10, 2025, doi:10.3390/mi16101130.
3. *Gaibov A.G., Vakhobov K.I., Ibragimova B.V., Zhuraev U.E. and D. T. Rasulova.* Influence of ultrasonic waves on current-voltage characteristics and polarization effects of si-n-p radiation receivers/ *Materials Science Forum*, ISSN: 1662-9752, Vol. 1049,2022, pp 317-324
4. “*Silicon Carbide devices for radiation detection: A review of the main performances*,” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A*, vol. 1072, 2025, doi:10.1016/j.nima.2024.170112.

5. Gaibov A.G., Eshkulov A.A., Juraev U.E., Vakhobov K.I. Photoelectric characteristics of Si-photocetitors. E3S Web of Conferences **461**, 01070 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346101070>
6. Eremin V., et al. Avalanche effect in Si heavily irradiated detectors: physical mode and perspectives for application, Nucl. Instr. and Meth., A **658**, 145 (2011).
7. Radzhapov S.A. Diffusion formation of the i region Si(Li) detectors of nuclear radiation // Atomic Energy.- New York, Vol. 102, No. 6, 2007, pp. 485-486.
8. V. Dugaev and V. Litvinov, **Modern Semiconductor Physics and Device Applications**. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2022.pp.383-399.
9. Мирсагатов Ш.А., Санаев И.Б., Назаров Ж.Т. «Ультразвуковой отжиг поверхностных состояний в гетеропереходе инжекционного фотодиода p-Si/n-CdS/n+-CdS.»// Неорганические материалы 2015, том 51, № 1 с.3-6.
10. Азимов С.А., Муминов Р.А. и др. Кремний-литиевые детекторы ядерного излучения. Ташкент, 'Фан', 1981, 258 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИФФУЗИОННЫХ Si-p-n ДЕТЕКТОРОВ

Аннотация. Полупроводниковые детекторы излучения на основе кремния широко используются в современной электронике и ядерной аппаратуре. Однако наличие кластеров дефектов и локализованных неоднородностей существенно влияет на их электрофизические характеристики. Данное исследование направлено на изучение влияния электрических полей и ультразвуковых волн на электрофизические свойства диффузионных кремниевых pn-детекторов.

Экспериментальные исследования проводились с использованием диффузионных Si-pn детекторов, изготовленных методом диффузии фосфора в кремний p-типа. Потери заряда и свойства переноса носителей заряда анализировались при различных значениях напряженности электрического поля и ультразвуковом облучении ($f = 15$ МГц, $I = 0,4$ Вт/см²)

Было установлено, что увеличение электрического поля снижает потери заряда и увеличивает время жизни носителей заряда. Ультразвуковая обработка приводит к уменьшению размера и концентрации локальных кластеров дефектов, что улучшает подвижность носителей заряда и сокращает время дрейфа.

Ультразвуковое воздействие значительно улучшает характеристики детектора за счет модификации дефектных структур, увеличения времени жизни носителей заряда и повышения эффективности сбора заряда.

Ключевые слова: диффузионные Si-детекторы, ультразвуковые волны, потеря заряда, постоянная захвата, дрейфовая скорость, центры захвата, крупномасштабные ловушки.

ТАҲҚИҚИ ТАЪСИРИ МАЙДОНҲОИ ЭЛЕКТРИКӢ ВА УЛТРАСАДОӢ БА ХУСУСИЯТҲОИ ЭЛЕКТРОФИЗИКИИ ДЕТЕКТОРҲОИ ДИФФУЗИОНИИ Si-p-n

Физишуда. Детекторҳои нимноқилии шуоъафканӣ дар асоси кремний дар электроникаи муосир ва таҷҳизоти ядрои васеъ истифода мешаванд. Аммо мавҷудияти кластерҳои нуқсонҳо ва якхеланабуданиҳои маҳаллӣ ба хусусиятҳои электрофизикии онҳо таъсири назаррас мерасонад. Мақсади таҳқиқоти мазкур омӯзиши таъсири майдонҳои электрикӣ ва мавҷҳои ултрасадо ба хусусиятҳои электрофизикии детекторҳои кремнийи p-n-и диффузионӣ мебошад.

Таҳқиқоти таҷрибавӣ бо истифода аз детекторҳои Si-p-n-и диффузионӣ, ки бо роҳи диффузияи фосфор ба кремнийи навъи p истеҳсол шудаанд, гузаронида шуданд. Талафоти заряд ва хусусиятҳои интиқоли ҳомилони заряд дар қиматҳои гуногуни шиддатнокии майдони электрикӣ ва ҳангоми таъсири ултрасадо ($f = 15$ МГц, $I = 0,4$ Вт/см²) таҳлил карда шуданд.

Муайян карда шуд, ки афзоиши шиддатнокии майдони электрикӣ талафоти зарядро коҳиш дода, вақти ҳаёти ҳомилони зарядро зиёд мекунад. Таъсири ултрасадо ба кам шудани андоза ва концентратсияи кластерҳои маҳаллии нуқсонҳо оварда, дар натиҷа ҳаракатнокии ҳомилони заряд беҳтар ва вақти дрейф кӯтоҳ мешавад.

Таъсири ултрасадо хусусиятҳои детекторро ба таври назаррас беҳтар намуда, ба тағйирёбии сохторҳои нуқсондор, зиёд шудани вақти ҳаёти ҳомилони заряд ва баланд гардидани самаранокии ҷамъоварии заряд мусоидат мекунад.

Калимаҳои калидӣ: детекторҳои диффузионии Si, мавҷҳои ултрасадо, талафоти заряд, коэффисиенти забт, суръати дрейф, марказҳои забт, домҳои калонҳаҷм.

STUDY OF THE INFLUENCE OF ELECTRIC AND ULTRASONIC FIELDS ON THE ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF DIFFUSION Si-p-n DETECTORS

Annotation. Silicon-based semiconductor radiation detectors are widely used in modern electronics and nuclear equipment. However, the presence of defect

clusters and localized inhomogeneities significantly affects their electrical characteristics. This study aims to investigate the influence of electric fields and ultrasonic waves on the electrical properties of diffused silicon p-n detectors.

Experimental studies were conducted using diffused Si-p-n detectors fabricated by phosphorus diffusion into p-type silicon. Charge loss and charge carrier transport properties were analyzed at various electric field strengths and ultrasonic irradiation ($f = 15$ MHz, $I = 0.4$ W/cm²). It was found that increasing the electric field reduces charge loss and increases charge carrier lifetime. Ultrasonic treatment reduces the size and concentration of local defect clusters, which improves charge carrier mobility and shortens drift time.

Ultrasonic treatment significantly improves detector performance by modifying defect structures, increasing charge carrier lifetime, and enhancing charge collection efficiency.

Keywords: diffuse Si detectors, ultrasonic waves, charge loss, trapping constant, drift velocity, trapping centers, large-scale traps

Сведения об авторах: Гаиров Абдумалик Гайбуллаевич – к.ф.-м.н., профессор кафедры общей физики Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова. Адрес: 100095, г. Республика Узбекистан, Ташкент, Университетская 2а. **E-mail:** gaibov.1954@mail.ru.

Вахобов Кутбиддин Илавиддинович – к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова. Адрес: 100095, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Университетская 2а. **E-mail:** yahobov1964@mail.ru.

Исламов Бахтиёр Хайдарович – д.х.н., профессор кафедры точных и естественных наук Ташкентского института текстильной и легкой промышленности. Адрес: 100100, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Шохджахон, 5. **E-mail:** b.x.islamov28@gmail.com.

Химматкулов Одилбай - к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова. Адрес: 100095, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Университетская 2а. **E-mail:** khimmatkulov@mail.ru.

Шаимов Эркин Джабарович – к.ф.-м.н., доцент кафедры физики твердого тела Таджикского национального университета. Адрес: Республика Таджикистан, г. Душанбе, Рудаки 17, тел: +992937577754. **E-mail:** eshoimov@mail.ru.

Акобирова Азиза Тошпулатовна – к.ф.-м.н., доцент кафедры физической электроники Таджикского национального университета. Адрес: Республика Таджикистан, г. Душанбе, Рудаки 17, тел: +992907917626.

Маълумот дар бораи муаллифони: Гаиров Абдумалик Гайбуллоевич – н.и.ф.-м., профессори кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи давлатии техникии Тошканд ба номи Ислам Каримов. Суроға: 100095, Ҷумҳурии Узбекистон, ш. Тошканд, кўчаи Университетская 2а. **E-mail:** gaibov.1954@mail.ru.

Вахобов Кутбиддин Илавиддинович – н.и.ф.-м., дотсенти кафедраи физикаи умумӣ дар Донишгоҳи давлатии техникии Тошканд ба номи Ислам Каримов. Суроға: 100095.

Ҷумҳурии Ўзбекистон, ш.Тошканд, кўчаи Университетская 2а. **E-mail:** vahobov1964@mail.ru.

Ҳимматқулов Одилбой – н.и.ф.-м., дотсенти кафедраи физикаи умумӣ дар Донишгоҳи давлатии техникии Тошканд ба номи Исмоил Каримов. Суроға: 100095, Ҷумҳурии Ўзбекистон, ш.Тошканд, кўчаи Университетская 2а. **E-mail:** khimmatkulov@mail.ru.

Исмолов Бахтиёр Ҳайдарович – д.и.х., профессори кафедраи илмҳои дақиқ ва табиӣ, Донишқадаи нассочӣ ва саноати сабуки Тошкент. Суроға:100100, Ҷумҳурии Ўзбекистон, шаҳри Тошкент, кўчаи Шохҷаҳон, 5. Почтаи электронӣ: b.x.islamov28@gmail.com.

Шаимов Эркин Ҷабборович - Дотсенти кафедраи физикаи ҷисмҳои саҳти Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кўчаи Рӯдакӣ 17, тел.: +992937577754. **E-mail:** eshoimov@mail.ru.

Акобирова Азиза Тошпулатовна – н.и.ф.-м., дотсенти кафедраи электроникаи физикии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш.Душанбе, кўчаи Рӯдакӣ, 17; тел.: +992907917626.

Abdumalik Gaybullaevich Gaibov - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor in the Department of General Physics at the Islam Karimov Tashkent State Technical University. 100095, Address: Tashkent, Universitetskaya 2a. **E-mail:** gaibov.1954@mail.ru.

Odilbay Khimmatkulov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor in the Department of General Physics at the Islam Karimov Tashkent State Technical University. 100095, Address: Tashkent, Universitetskaya 2a. **E-mail:** khimmatkulov@mail.ru.

Kutbiddin Ilaviddinovich Vakhabov - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor in the Department of General Physics at the Islam Karimov Tashkent State Technical University. 100095, Address: Tashkent, Universitetskaya 2a. **E-mail:** vahobov1964@mail.ru.

Bakhtiyor Haydarovich Islamov – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Exact and Natural Sciences, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, 100100, Republic of Uzbekistan, Tashkent, 5 Shohjahon Street. **E-mail:** b.x.islamov28@gmail.com.

Erkin Jabborovich Shoimov – Associate Professor of the Department of Solid State Physics, Tajik National University; Head of the Department of Solid State Physics, Tajik National University, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue 17, Tel.: +992937577754. **E-mail:** eshoimov@mail.ru.

Akobirova Aziza Toshpulatovna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Physical Electronics, Tajik National University, Republic of Tajikistan, Dushanbe, 17 Rudaki St., tel.: +992907917626.

Мақола ба редакция ворид шуд: 10.06.2026

Аз тақриз баргашт: 29.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 30.08.2026

ТАҲЛИЛ ВА КОРКАРДИ НАТИҶАҶОИ ТАҶРИБАВӢ ОИД БА ГАРМИГУЗАРОНИИ НАНОСЕЛЛЮЛОЗАҶОИ КРИСТАЛӢ ВА ФИБРИЛЛЯРӢ

Зарифзода М.А., *Файзова М.А.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

*Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав

Сарсухан

Гузариш ба рушди устувор ва иқтисоди сабз ба вучуд омадани маводҳоро дар асоси захираҳои барқароршаванда талаб мекунад. Наноселлюлоза (фибриллярӣ ва кристаллӣ), ки аз ашёи хоми растанӣ ба даст оварда мешавад, ҳамчун маводи биологӣ ва экологӣ пурра ба ин талабот ҷавобгӯ буда, онро алтернативӣ ба полимерҳои синтетикӣ ва адсорбентҳои ғайриорганикӣ мегардонад.

Идоракунии интиқоли гармӣ дар миқёси нано омили калидӣ дар беҳтар кардани самаранокии энергетикӣ дастгоҳҳо мебошад. Омӯзиши хосиятҳои гармофизикӣ наноселлюлоза ба мо имкон медиҳад, ки фаҳмиши худро дар бораи механизмҳои гузаронандагии гармӣ дар наносохторҳои биополимер васеъ кунем ва ба эҷоди маводҳои инноватсионӣ изолятсияи гармӣ ва танзимкунандаи ҳарорат мусоидат кунем. Дониши нокифоя дар бораи робитаи байни сохтори наноселлюлоза ва хосиятҳои функционалии он имкониятҳоро барои синтези мақсадноки маводҳо бо хусусиятҳои дилхоҳ маҳдуд мекунад. Муқаррар кардани робитаҳо байни морфология, таркиби химиявӣ ва параметрҳои гармофизикӣ мушкили муҳими илмӣ мебошад.

Аз ин рӯ, мавзӯи мақолаи пешниҳодшуда ҳам аз нигоҳи назариявӣ ва ҳам аз нигоҳи амалӣ муҳим аст. Натиҷаҳои бадастомада метавонанд ба рушди назарияи интиқоли гармӣ ва масса дар биополимерҳои наносохторӣ саҳми назаррас гузоранд ва ба эҷоди маводҳои нав барои энергетика, экология ва саноат мусоидат кунанд.

Хусусиятҳои гармофизикӣ наноселлюлозаҳо як соҳаи муҳим ва таҳқиқшавандаи илм буда, инкишофи онҳо дар ҷанбаҳои гуногун ҳанӯз дар марҳилаи таҳқиқот ва рушди фаъол қарор доранд. Дар даҳсолаҳои охир, наноселлюлоза бо сабаби хосиятҳои беназири физикию химиявии худ, аз ҷумла масоҳати баланди хос, вазни сабук, аз ҷиҳати экологӣ тоза ва тағйирпазирӣ, ҳамчун маводи умедбахш ба худ таваҷҷӯхро ҷалб кардааст.

Дар мақолаи муаллифон Klemm D. хосиятҳои химиявии наноселлюлозаҳо омукта шуда, чунин хулосабарорӣ шудааст: «*Наноселлюлоза метавонад бо оксиген ва агентҳои оксидкунанда ба реаксия равад, ки баъзан*

барои беҳтар кардани устуворию он дар шароити гуногун истифода мешавад. Инчунин наноселлюлоза ба аксари кислотаҳо ва ишқорҳо тобовар аст, аммо метавонад дар ҳарорати баланд ё реаксияҳои оксидиавии қавӣ таҷзия шавад. Нанокристаллҳои селлюлоза (НК) дараҷаи баланди кристаллӣ доранд ва шаклҳои сӯзанишакл ё дурушит доранд. Ин кристаллҳо хеле устуворанд ва ба таъсири механикӣ тобоваранд.

Нанофибриллаҳои селлюлоза (НФ): сохти нахдор, дарозии баланд ва шакли қавӣ доранд, ки ба онҳо хосиятҳои беназири механикӣ ва термодинамикӣ медиҳанд» [1, с.3383].

Таҳқиқотҳои таҷрибавӣ

Барои чен кардани гармигузаронии наноселлюлозаи (кристаллӣ ва фибриллярӣ) мо дастгоҳеро, ки аз тарафи профессор Е.С. Платунов ва шогирдонаш таҳия шудааст истифода бурдем, ки бо усули гармкунии монотонӣ кор мекунад [3, с.120], ва тавсифи ин дастгоҳ дар кори [4, с.210], инчунин усулҳои ченкунӣ ва ҳисобкунии хатогиҳои бузургҳои ченшаванда дар манбаҳои [5, с.86]; [6, с.191]; [7, с. 325]; [8, с.125] оварда шудааст.

Усули гармкунии монотонӣ, ки дастгоҳи пешниҳодшуда бо ин усул кор мекунад барои чен кардани гармигузаронии маводҳои саҳт, хокагӣ, моеъҳо, маҳлӯлҳо ва ғайраҳоро чен кардан мумкин мебошад [2, с.231].

Натиҷаи ченкуниҳо ва ҳисобкуниҳо нишон доданд, ки ҳудуди эътимодноки хатогии гармигузаронӣ ҳангоми чен кардан бо усули гармкунии монотонӣ дар намуди нисбӣ ҳангоми $\alpha=0,95$ будан 1,9%; хатои методӣ - 0,2% ва хатои асбобӣ -1,1%-ро ташкил дод. Хатогии умумии нисбии ченкунӣ 3,2% -ро ташкил медиҳад.

Натиҷаҳои таҳқиқот

Дар кори мазкур натиҷаҳои таҳқиқи таҷрибавии гармигузаронӣ наноселлюлозаи фибриллярӣ ва кристаллӣ дар ҳароратҳои (298-373K) ва фишорҳои (0,1 - 7,5 МПа) оварда шудааст. Дар кори мазкур таҳлили ҳамаҷонибаи мавзӯе пешниҳод шудааст, ки бартарии татбиқи наноселлюлозаро дар маводҳо пешниҳод менамояд, яъне таъсири мутақобилаи селлюлоза бо об. Мавҷудияти об ё наметабар дар маводҳои дар асоси селлюлоза мавҷудбуда аксар вақт ҳамчун як камбудӣ ҳисобида мешавад. Натиҷаҳои таҳқиқотҳои таҷрибавии наноселлюлозаҳои фибриллярӣ ва кристаллӣ (0,5 - 3,0%) вобаста аз консентратсияи об, ҳарорат дар ҷадвали 1- 4 оварда шудааст.

Ҷадвали 1.

Вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии наноселлюлозаи фибриллярӣ аз консентратсияи об, ҳарорат дар фишори атмосферӣ ($P=0,1$ МПа)

Концентра тсия $n_{НСФ}$,%	Ҳарорат, К							
	298	313	323	333	343	353	363	373
0,5	0,582	0,604	0,613	0,635	0,657	0,673	0,696	0,713
1,0	0,611	0,632	0,654	0,673	0,691	0,714	0,731	0,753
1,5	0,643	0,665	0,683	0,705	0,725	0,743	0,764	0,785
2,0	0,672	0,693	0,712	0,732	0,756	0,773	0,794	0,817
2,5	0,693	0,724	0,742	0,765	0,783	0,804	0,822	0,843
3,0	0,712	0,743	0,771	0,797	0,814	0,831	0,854	0,876

Ҷадвали 2.

Вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии наноселлюлозаи фибриллярӣ аз консентратсияи об (2,0%) вобаста аз фишор ва ҳарорат

Фишор P , МПа	Ҳарорат Т, К							
	298	313	323	333	343	353	363	373
0,1	0,671	0,692	0,712	0,731	0,752	0,773	0,792	0,812
1,0	0,674	0,694	0,714	0,734	0,755	0,774	0,795	0,815
2,0	0,675	0,698	0,717	0,737	0,757	0,777	0,798	0,817
3,0	0,681	0,703	0,721	0,743	0,762	0,781	0,803	0,825
5,0	0,687	0,709	0,729	0,749	0,769	0,789	0,809	0,829
7,5	0,697	0,719	0,739	0,759	0,779	0,798	0,817	0,841

Ҷадвали 3.

Вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии наноселлюлозаи кристаллӣ аз консентратсияи об, ҳарорат дар фишори атмосферӣ ($P=0,1$ МПа)

Концентра тсия $n_{НСК}$,%	Ҳарорат, К							
	298	313	323	333	343	353	363	373
0,5	0,615	0,611	0,609	0,605	0,601	0,599	0,597	0,595
1,0	0,629	0,625	0,623	0,620	0,617	0,614	0,612	0,609
1,5	0,643	0,639	0,636	0,634	0,629	0,625	0,623	0,624
2,0	0,656	0,651	0,649	0,647	0,644	0,64	0,638	0,636
2,5	0,671	0,668	0,665	0,661	0,66	0,659	0,65	0,653
3,0	0,683	0,679	0,677	0,675	0,671	0,669	0,667	0,666

Ҷадвали 4.

Вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии наноселлюлозаи кристаллӣ аз консентратсияи об (0,5%) вобаста аз фишор ва ҳарорат

Фишор P , МПа	Ҳарорат T, K							
	298	313	323	333	343	353	363	373
0,1	0,653	0,646	0,643	0,641	0,638	0,634	0,630	0,627
1,0	0,654	0,649	0,647	0,642	0,639	0,636	0,633	0,629
1,5	0,656	0,653	0,649	0,644	0,641	0,639	0,635	0,632
3,0	0,663	0,658	0,655	0,651	0,645	0,642	0,638	0,635
5	0,666	0,661	0,658	0,654	0,650	0,647	0,542	0,639
7,5	0,676	0,671	0,667	0,663	0,659	0,656	0,651	0,649

Аз натиҷаҳои таҳқиқотҳои таҷрибавӣ маълум шуд, ки тағйирёбии ҳарорат ($T=298-373K$), фишор ($P=0,1-7,5M\text{Па}$) ва консентратсияи таркиби дуюм (0,5-3,0%) коэффитсиенти гармигузаронии наноселлюлозаҳои фибриллярӣ ва кристаллиро тағйир медиҳанд. Масалан, бо афзоиши консентратсияи наноселлюлозаи фибриллярӣ коэффитсиенти гармигузарони ба таври мунтазам зиёд мешавад. Ин бо он вобаста аст, ки бо ташкил шудани занҷири фибриллии нисбатан ҷафс, гузаштани гармӣ дар байни онҳо беҳтар мешавад.

Наноселлюлозаҳои кристаллӣ нисбат ба фибриллярӣ коэффитсиенти гармигузаронии нисбатан калонро дорад. Сабаб дар он мебошад, ки наноселлюлозаҳои кристаллӣ дараҷаи баланди сохтори кристаллии ботартибро доранд.

Ҳангоми афзоиши консентратсияи наноселлюлозаи кристаллӣ дар об аз 0,5 то 3,0% гармигузаронии суспензия ба таври мунтазам зиёд мешавад.

Таҳлил ва коркарди натиҷаҳои таҷриба

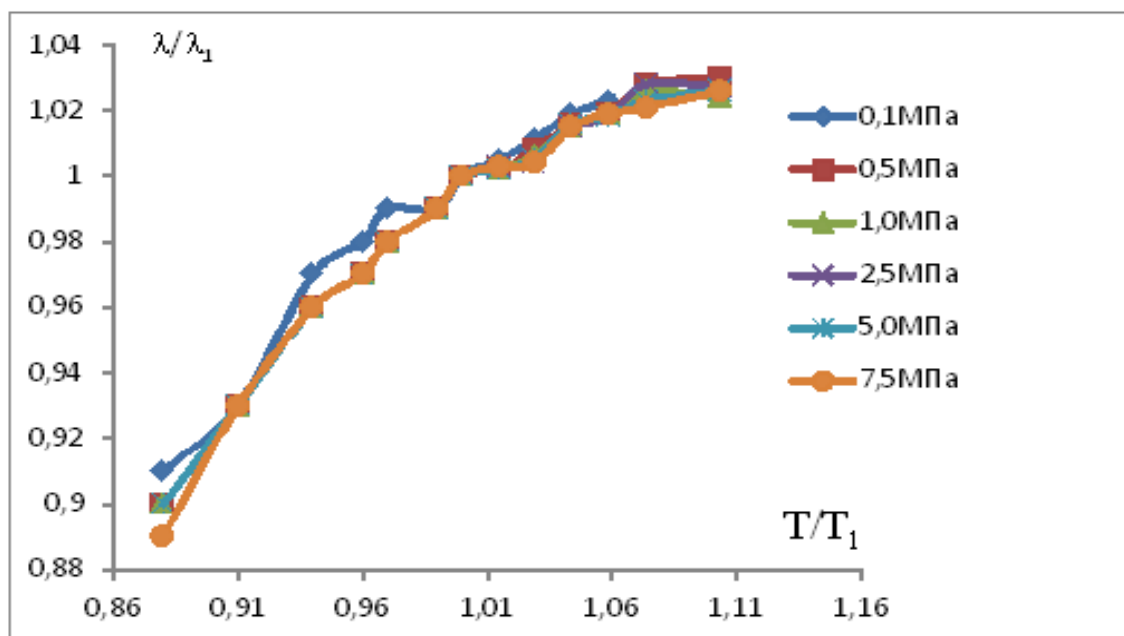
Маълумоти таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ наноселлюлозаҳои фибриллярӣ ва кристаллӣ вобаста аз ҳарорат (298-373)K ва фишор (0,1-7,5)МПа, ки ба воситаи таҳқиқотҳои таҷрибавӣ ба даст оварда шудаанд, бо мақсади ба даст овардани муодилаҳои эмпирикӣ ва вобастагии аппроксиматсионии объектҳои таҳқиқотии ҳосияти дар боло зикргардида таҳлил ва коркард карда шуданд.

Бо мақсади ҳосил намудани муодилаҳои эмпирикӣ барои ҳисоб намудани коэффитсинти гармигузаронии наноселлюлозаҳои таҳқиқотӣ вобаста аз ҳарорат (298-373)K ва фишор (0,1-7,5)МПа мо усулҳои квадрати хурдтарин ва монандии термодинамикиро дар намуди вобастагии функционалии зерин истифода бурдем [9, с.171]; [10, с.91]:

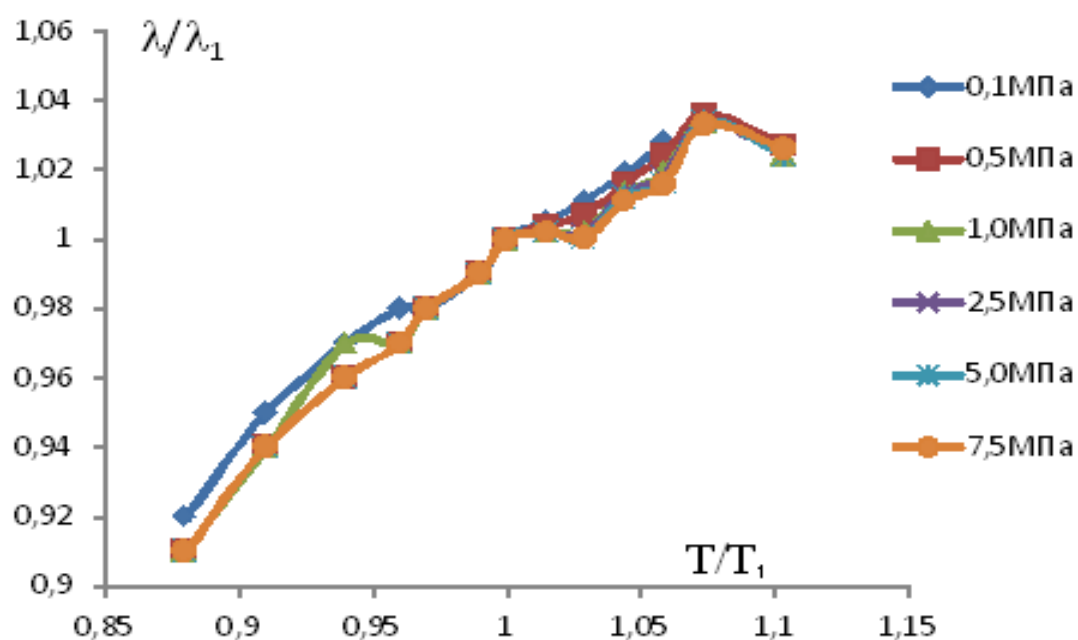
$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f \left[\left(\frac{T}{T_1} \right), \left(\frac{P}{P_1} \right) \right] \quad (1)$$

ин ҷо λ ва λ_1 – мувофиқан коэффитсиенти гармигузаронӣ ҳангоми T ва T_1 : $T_1=338\text{K}$; P ва P_1 : $P_1=2,5\text{МПа}$

Иҷрошавии формулаи (1) ба намуди графикӣ дар расми 1 нишон дода шудааст, ки намуди зеринро дорад.



Расми 1. Вобастагии нисбати $\left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right)$ аз нисбати $\left(\frac{T}{T_1}\right)$ барои наноселлюлозаи фибриллярӣ.



Расми 2. Вобастагии нисбати $\left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right)$ аз нисбати $\left(\frac{T}{T_1}\right)$ барои наноселлюлозаи кристаллӣ.

Бо мақсади ҳосил кардани муодилаи ягона барои ҳисоб кардани коэффитсиенти гармигузаронии маводҳои тадқиқотӣ аз усулҳои квадрати хурдтарин ва монандии термодинамикӣ бо истифодаи таҳлили графикӣ муодилаи зерин ҳосил карда шуд:

$$\text{наноселлюлозаи фибриллярӣ: } \frac{\lambda}{\lambda_1} = -2,309 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 5,1374 \frac{T}{T_1} - 1,8321 \quad (2)$$

$$\text{наноселлюлозаи кристаллӣ: } \frac{\lambda}{\lambda_1} = -1,0667 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 2,6314 \frac{T}{T_1} - 0,5654 \quad (3)$$

дар ин ҷо λ, λ_1 - мувофиқан коэффитсиенти гармигузарони дар ҳароратҳои T ва T_1 : $T_1=383\text{K}$.

Дар муодилаи (2) ва (3) коэффитсиенти гармигузаронии λ_1 - аз консентратсияи об вобаста кардан мумкин аст.

Инчунин барои пурра намудани муодилаи ҳолат, яъне вобаста намудан аз фишори таҷриба мо таҳлили графикӣ муодилаҳои зеринро ҳосил намудем:

$$\text{- наноселлюлозаи фибриллярӣ: } \frac{\lambda}{\lambda_1} = \left(-0,0007 \left(\frac{P}{P_1} \right)^2 + 0,006 \frac{P}{P_1} + 0,995 \right) \quad (4)$$

$$\text{- наноселлюлозаи кристаллӣ: } \frac{\lambda}{\lambda_1} = \left(-0,0031 \ln \left(\frac{P}{P_1} \right) + 1,0003 \right) \quad (5)$$

дар ин ҷо λ, λ_1 - мувофиқан дар фишорҳои P ва P_1 мебошад: $P_1=2,5\text{МПа}$.

Дар асоси муодилаҳои (4) ва (5) муодилаи (1)-ро ба намуди зерин навиштан мумкин аст [11, с.99]:

барои наноселлюлозаи фибриллярӣ:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \left[\left(-2,309 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 5,1374 \frac{T}{T_1} - 1,8321 \right) \left(-0,0007 \left(\frac{P}{P_1} \right)^2 + 0,006 \frac{P}{P_1} + 0,995 \right) \right] \quad (6)$$

барои наноселлюлозаи кристаллӣ:

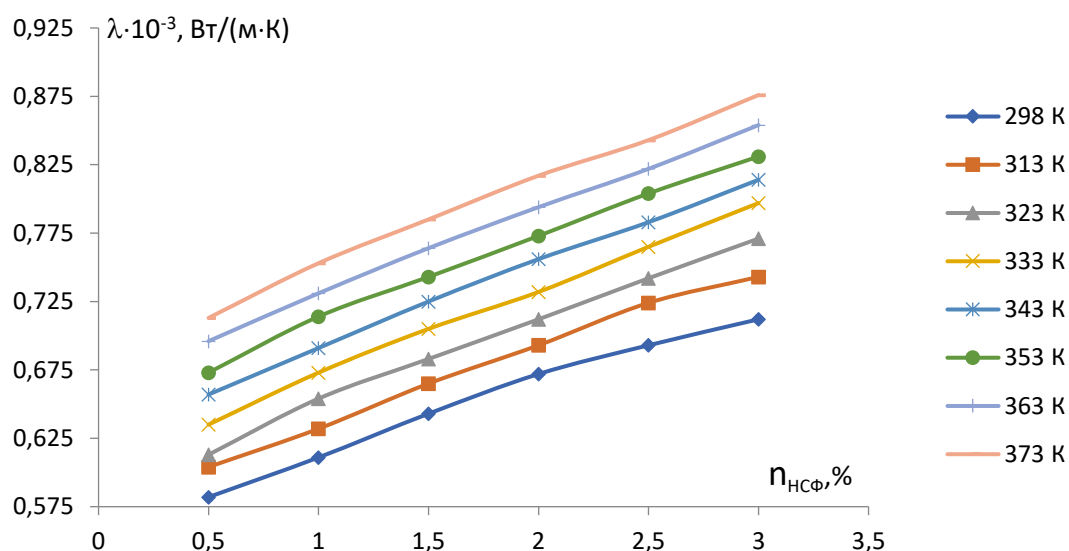
$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \left[\left(-1,0667 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 2,6314 \frac{T}{T_1} - 0,5654 \right) \left(-0,0031 \ln \left(\frac{P}{P_1} \right) + 1,0003 \right) \right] \quad (7)$$

Аз натиҷаҳои таҳқиқотҳои таҷрибавӣ маълум мешавад, ки коэффитсиенти гармигузаронии маводҳои тадқиқотӣ (об+НСФ,НСК) аз тағйирёбии ҳарорат фишор ва консентратсияи наноселлюлозаҳои фибриллярӣ ва кристаллӣ вобаста мебошад.

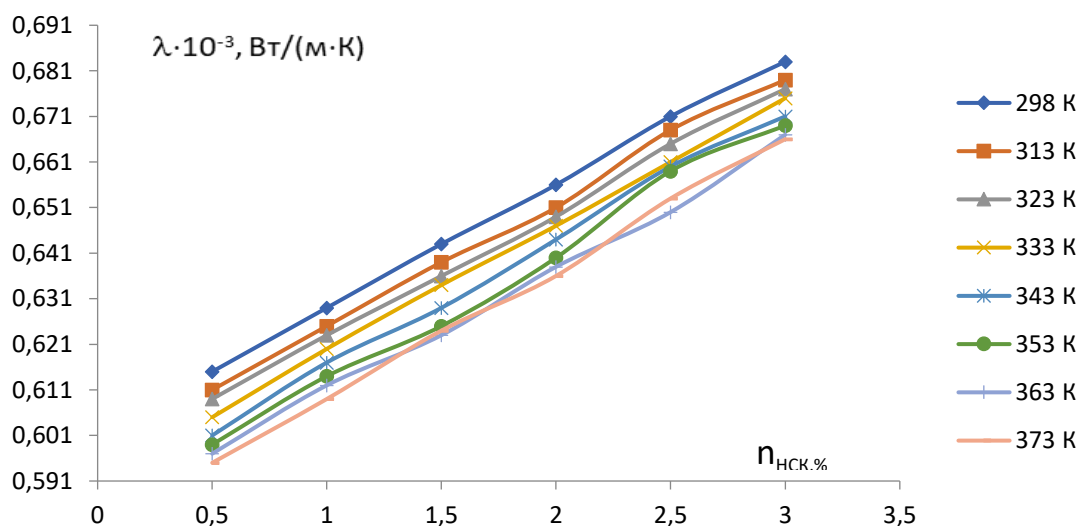
Барои бо таври назариявӣ ҳисоб кардани коэффитсиенти гармигузаронии наноселлюлозаҳои фибриллярӣ ва кристаллӣ мо муодилаҳои (6) ва (7)-ро ҳосил намудем, натиҷаи таҳқиқотҳо нишон доданд, ки λ_1 функцияи консентратсияи наноселлюлозаҳои фибриллярӣ ва кристаллӣ мебошад [12, с.45].

$$\lambda = f(n_{\text{НСФ}}, n_{\text{НСК}}) \quad (8)$$

Иҷрошавии вобастагии функционалии (8) дар расмҳои 5 ва 6 нишон дода шудааст.



Расми 5. Вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии ($\lambda \cdot 10^{-3}$, Вт/(м·К)) системаи (об+НСФ аз 0,5 то 3,5%) вобаста аз ҳарорат.



Расми 6. Вобастагии коэффитсиенти гармигузаронии ($\lambda \cdot 10^{-3}$, Вт/(м·К)) системаи (об+НСК аз 0,5 то 3,5%) вобаста аз ҳарорат

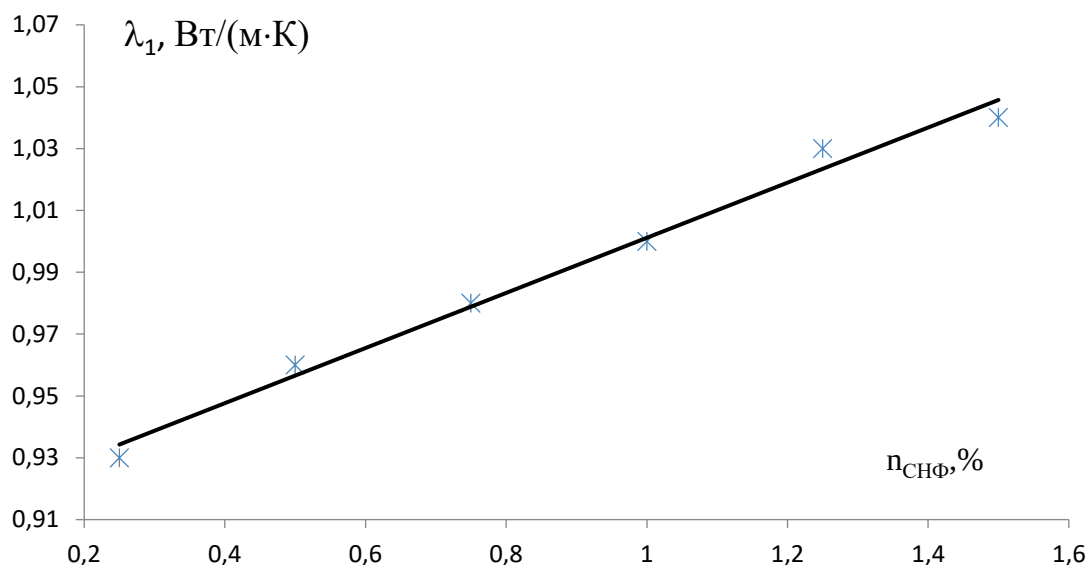
Аз расмҳои 4 ва 5 дида мешавад, ки коэффитсиенти гармигузаронӣ дар ҳарду объекти таҳқиқотӣ бо афзоиши ҳарорат ва консентратсияи СНФ ва СНК ба таври хаттӣ зиёд мешавад.

Аз натиҷаҳои таҳқиқотҳои таҷрибавӣ маълум шуд, ки тағйирёбии ҳарорат ($T=298-373\text{K}$), фишор ($P=0,1-7,5\text{МПа}$) ва консентратсияи таркиби дуюм ($0,5-3,0\%$) коэффитсиенти гармигузаронии наноселлюлозаҳои фибриллярӣ ва кристаллиро тағйир медиҳанд. Масалан, бо афзоиши консентратсияи наноселлюлозаи фибриллярӣ коэффитсиенти гармигузаронӣ ба таври мунтазам зиёд мешавад. Ин бо он вобаста аст, ки бо ташкил шудани занҷири фибрилли нисбатан ҷафс гузаштани гармӣ дар байни онҳо беҳтар мешавад.

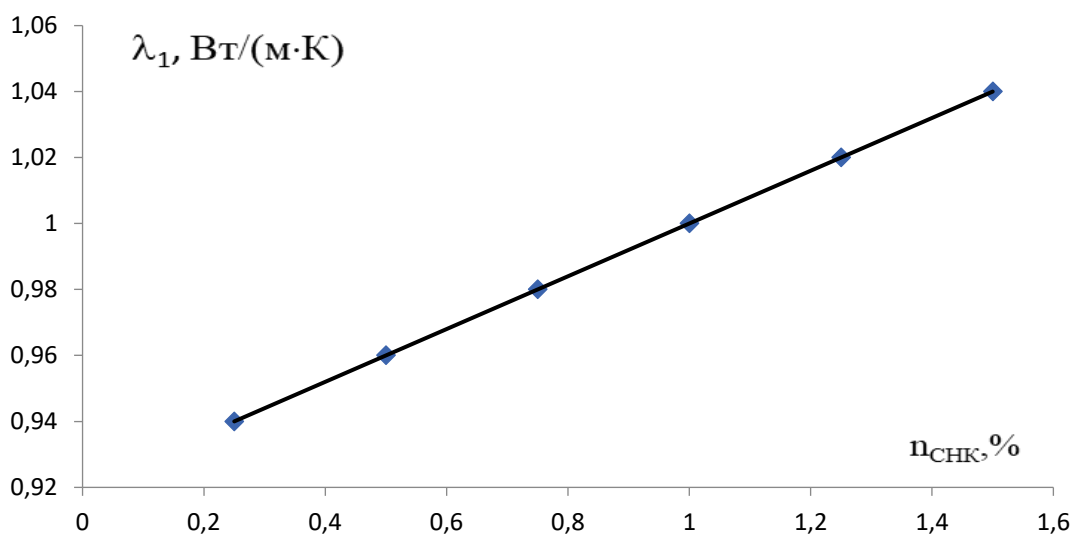
Наноселлюлозаҳои кристаллӣ нисбат ба фибриллярӣ коэффитсиени гармигузаронии нисбатан калонро дорад. Сабаб дар он мебошад, ки наноселлюлозаҳои кристаллӣ дараҷаи баланди сохтори кристаллии ботартибро доранд.

Ҳангоми афзоиши консентратсияи наноселлюлозаи кристаллӣ дар об аз 0,5 то 3,0% гармигузаронии суспензия ба таври мунтазам зиёд мешавад.

Бо мақсади ба даст овардани муодилаи умумии ҳолат барои ҳисоб намудани коэффитсиенти гармигузаронии системаҳои таҳқиқотӣ мо усулҳои монандии термодинамикӣ ва мувофиқоварии ҳолат, инчунин таҳлили графикаро истифода бурдем.



Расми 6. Вобастагии нисбати гармигузаронӣ λ_1 аз нисбати консентратсияи наноселлюлозаи фибриллярӣ $n_{\text{ЧКФ}}$ дар ҳарорати 343K.



Расми 7. Вобастагии нисбати гармигузаронӣ λ_1 аз нисбати консентратсияи наноселлюлозаи кристаллӣ $n_{\text{ЧК}}$.

Хатҳои рости дар расмҳои 6 ва 7 нишондода шуда бо муодилаҳои зерин ифода карда мешаванд:

$$\text{наноселлюлозаи фибриллярӣ: } \lambda_1 = 0,0891n_{\text{СНФ}} + 0,912 \quad (9)$$

$$\text{наноселлюлозаи кристаллӣ: } \lambda_1 = 0,8n_{\text{СНК}} + 0,92 \quad (10)$$

Дар асоси муодилаҳои (9) ва (10) муодилаҳои (6) ва (7)-ро чунин менависем:

- барои наноселлюлозаи фибриллярӣ:

$$\lambda = \left[\left(-2,309 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 5,1374 \frac{T}{T_1} - 1,8321 \right) \left(-0,0007 \left(\frac{P}{P_1} \right)^2 + 0,006 \frac{P}{P_1} + 0,995 \right) (0,0891n_{\text{СНФ}} + 0,912) \right], \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (11)$$

- барои наноселлюлозаи кристаллӣ:

$$\lambda = \left[\left(-1,0667 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 + 2,6314 \frac{T}{T_1} - 0,5654 \right) \left(-0,0031 \ln \left(\frac{P}{P_1} \right) + 1,0003 \right) (0,8n_{\text{СНК}} + 0,92) \right], \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (12)$$

Бо ёрии муодилаҳои (11) ва (12) коэффитсиенти гармигузаронии наноселлюлозаҳои фибриллярӣ ва кристаллиро бо хатогии 2,4% ва дар баъзе нуқтаҳо то хатогии 5,5% ҳисоб кардан мумкин аст.

Инчунин ин муодила **модели таҷрибавӣ (эмпирикӣ)** мебошад, ки барои ҳисоб кардани коэффитсиенти гармигузаронӣ дар шароити гуногуни ҳарорат ва фишор истифода мешавад.

Хулосаҳо

1. Барои муайян кардани гармигузаронии маводҳои нахдор, моеъҳо ва маҳдлуҳо истифода бурдани ченкунии гармигузаронии навъи ИТ-λ-400, ки бо усули гармкунии монотонӣ кор мекунад ба мақсад мувофиқ мебошад.

2. Ҳисобкуниҳо нишон доданд, ки хатогии нисбии максималии умумии ҳангоми эҳтимолияти эътимодноки α=0,95 будан барои коэффитсиенти гармигузаронӣ ба 3,2% баробар мебошад.

3. Муайян карда шуд, ки хосиятҳои гармофизикии наноселлюлоза дар шароити фишори атмосферӣ ба ҳарорат вобастагии назаррас доранд. Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон доданд, ки тағйирёбии ҳарорат ба механизми структураи онҳо таъсир расонида, ба тағйири коэффитсиенти гармигузаронӣ оварда мерасонад.

4. Нишон дода шуд, ки дар структураи наноселлюлоза интиқоли гармӣ асосан тавассути фононҳо амалӣ мегардад. Яъне, бо баланд шудани ҳарорат парокандашавии фононҳо зиёд гардида, ин ба тағйирёбии коэффитсиенти гармигузаронӣ дар маводҳои наноструктурӣ мусоидат мекунад.

Адабиёт

1. *Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.-P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. Angewandte*

- Chemie International Edition*, 44(22), Pp. 3358-3393. DOI: 10.1002/anie.200460587 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15861454/>
2. Зарубина А.Н. Иванкин А.Н. Кулезнев А.С. Кочетков В.А. / Целлюлоза и наноцеллюлоза. Обзор. М.: -1996. – 265с.
 3. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. / Е.С.Платунов // Л.: Энергия, 1973. –143 с.
 4. Платунов Е.С. Теплофизические измерения и приборы. / Е.С. Платунов, С.Е.Буравой, В.В.Курепин, Г.С.Петров // Под общ.ред. Платунова Е.С. –Л.: Машиностроение. Ленинград. Отд., 1986. – 256с.
 5. Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика / В.П.Вавилов, Д.А. Нестерук // М: Томск, 2007. -104 с.
 6. Вавилов В.П. Тепловой контроль. /В.П. Вавилов //М: Машиностроение, 2004. – 243с.
 7. Клименко А.В. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. / Под общей редакцией А.В. Клименко и В.М. Зорина // 3-е издание. Издательство МЭИ. М.- 2001. 560с
 8. Фукс Л.Т. Метод комплексного определения теплофизических свойств/ Л.Т. Фукс, В.Н. Шмандина //Известия Вузов. Энергетика. – 1970.–№2.–С.124–126.
 9. Сафаров Ш.Р. Влияние гидразиного нанопорошка на изменение удельной теплоёмкости тернарных систем кремниевой кислоты, многослойной углеродной нанотрубки в зависимости от температуры / Сафаров Ш.Р., Ойматова Х.Х., Сафаров М.М.// Вестник Таджикского национального университета (научный журнал), Серия естественных наук. –Душанбе, 2020. - №4. - С.165-175.
 10. Сафаров Ш.Р. Обработка и обобщение экспериментальных данных по изменению внутренней энергии, энергии Гиббса и энергии Гельмгольца тернарных систем / Сафаров Ш.Р., Ойматова Х.Х., Сафаров М.М. // Вестник Дангаринского государственного университета (научный журнал). - Дангара, 2022. №1(19). - С.84-94.
 11. Сафаров Ш.Р. Таҳлили маълумоти таҷрибавӣ оид ба гармигузаронии маҳдӯлҳо (метилбутилкетон+нанозарраҳо) вобаста аз ҳарорат ва фишор/ Сафаров Ш.Р., Шарипов С.М., Ойматова Х.Х., Сафаров М.М. // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава (научный журнал). - Бохтар, 2023. №2/1(108). - С.96-101
 12. Сафарзода Ш.Р. Коркард ва муҳокимаи маълумоти таҷрибавӣ оид ба энтропия ва энталпия системаи сечуза / Сафарзода Ш.Р., Давлатов Р. // Паёми Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи

академик Б. Ғафуров (номаи донишгоҳ) Силсилаи илмҳои табиатшиносӣ ва иқтисодӣ. - Хуҷанд, 2026. №2 (77). - С.39-47. ISSN 2077-4974

ТАҲЛИЛ ВА КОРКАРДИ НАТИҶАҲОИ ТАҶРИБАВӢ ОИД БА ГАРМИГУЗАРОНИИ НАНОСЕЛЛЮЛОЗАҲОИ КРИСТАЛЛӢ ВА ФИБРИЛЛЯРӢ

Аннотатсия: Мақолаи мазкур ба таҳқиқоти таҷрибавӣ оид ба гармигузаронии наноселлюлозаҳои кристаллӣ ва фибриллярӣ бахшида шудааст. Дар тадқиқот равандҳои интиқоли гармӣ дар шароити ҳароратҳои 298–373 К ва фишорҳои 0,1–7,5 МПа мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд. Тадқиқотҳо дар дастгоҳе, ки бо усули гармкунии монотонӣ фаъолият мекунад, амалӣ шудаанд. Ин усул имкон дод, ки хосиятҳои гармидиҳии намунаҳо дар шароити назоратшуда ва бо дақиқии баланд муайян карда шаванд.

Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон доданд, ки коэффитсиенти гармигузаронии наноселлюлозаҳо вобаста ба ҳарорат ва фишор тағйир меёбад. Ҳангоми афзоиши ҳарорат то 373 К ва болоравии фишор то 7,5 МПа, хосиятҳои интиқоли гармӣ нишондиҳандаҳои устувор ва қобили муқоиса бо маводҳои органикии дигарро ба даст оварданд. Хатогии нисбии умумии ченкуниҳо дар сатҳи эҳтимолияти эътимоднокии $\alpha = 0,95$ ҳамагӣ 3,2% буд, ки ин аз дақиқии баланди таҷрибаҳо ва эътимоднокии натиҷаҳо шаҳодат медиҳад.

Муҳимияти ин таҳқиқот дар он аст, ки наноселлюлозаҳо ҳамчун маводи биополимерӣ дорои имкониятҳои васеъ барои истифода дар соҳаҳои гуногун мебошанд. Аз ҷумла, онҳо метавонанд дар истеҳсоли маводҳои биокмпозитӣ, бастабандии устувор, электроникаи сабук ва системаҳои идоракунии гармӣ татбиқ шаванд. Омӯзиши хосиятҳои гармигузаронии онҳо дар шароити ҳарорат ва фишори гуногун барои муайян кардани самтҳои нави истифодаи амалӣ аҳаммияти назаррас дорад.

Ҳамин тариқ, мақола натиҷаҳои таҷрибавии боэътимодро пешниҳод мекунад, ки ба рушди назариявӣ ва амалӣ дар соҳаи илмҳои мавод ва нанотехнология мусоидат менамояд. Ин таҳқиқот заминаи илмӣ барои истифодаи наноселлюлозаҳои кристаллӣ ва фибриллярӣ дар муҳитҳои гуногунро фароҳам меорад ва имкониятҳои навро барои таҳияи маводҳои устувор ва самаранок мекушояд.

Калидвожаҳо: наноселлюлоза, кристаллӣ, фибриллярӣ, ҳарорат, фишор, гармигузаронӣ, таҳлил, коркард.

АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ И ФИБРИЛЛЯРНОЙ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Аннотация: Данная статья посвящена экспериментальным исследованиям теплопроводности кристаллических и фибриллярных наноцеллюлоз. В исследовании изучались процессы теплопередачи при температурах 298–373 К и давлениях 0,1–7,5 МПа. Исследования проводились на установке, работающей методом монотонного нагрева. Этот метод позволил определить тепловые свойства образцов в контролируемых условиях и с высокой точностью.

Экспериментальные результаты показали, что коэффициент теплопроводности наноцеллюлозы изменяется в зависимости от температуры и давления. При повышении температуры до 373 К и давления до 7,5 МПа теплопроводность приобрела стабильные показатели, сопоставимые с показателями других органических материалов. Суммарная относительная погрешность измерений при уровне достоверности $\alpha = 0,95$ составила всего 3,2%, что свидетельствует о высокой точности экспериментов и надежности результатов.

Важность данного исследования заключается в том, что наноцеллюлоза как биополимерный материал обладает широким потенциалом применения в различных областях. В частности, они могут быть применены в производстве биокompозитных материалов, прочной упаковки, легкой электроники и систем терморегулирования. Изучение их теплопроводности при различных температурах и давлениях имеет большое значение для выявления новых областей практического применения.

Таким образом, в статье представлены достоверные экспериментальные результаты, которые способствуют теоретическому и практическому развитию в области материаловедения и нанотехнологий. Данное исследование обеспечивает научную основу для использования кристаллической и фибриллярной наноцеллюлозы в различных средах и открывает новые возможности для разработки долговечных и эффективных материалов.

Ключевые слова: наноцеллюлоза, кристаллическая, фибриллярная, температура, давление, теплопроводность, анализ, обработка.

ANALYSIS AND PROCESSING OF EXPERIMENTAL RESULTS ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF CRYSTALLINE AND FIBRILLARY NANOCELLULOSE

Annotation: Abstract: This article is devoted to experimental studies of the thermal conductivity of crystalline and fibrillar nanocelluloses. The research studied heat transfer processes at temperatures of 298–373 K and pressures of 0.1–7.5 MPa. The studies were carried out in a device operating by the monotonic heating method. This method made it possible to determine the thermal properties of samples under controlled conditions and with high accuracy.

The experimental results showed that the thermal conductivity coefficient of nanocelluloses varies depending on temperature and pressure. When the temperature increased to 373 K and the pressure increased to 7.5 MPa, the thermal conductivity

properties acquired stable indicators comparable to those of other organic materials. The total relative error of measurements at the confidence level of $\alpha = 0.95$ was only 3.2%, which indicates the high accuracy of the experiments and the reliability of the results.

The importance of this study is that nanocelluloses as biopolymer materials have wide potential for use in various fields. In particular, they can be applied in the production of biocomposite materials, durable packaging, lightweight electronics, and thermal management systems. The study of their thermal conductivity properties under different temperature and pressure conditions is of great importance for identifying new areas of practical application.

Thus, the article presents reliable experimental results that contribute to theoretical and practical development in the field of materials science and nanotechnology. This study provides a scientific basis for the use of crystalline and fibrillar nanocelluloses in various environments and opens up new opportunities for the development of durable and efficient materials.

Keywords: nanocellulose, crystalline, fibrillar, temperature, pressure, thermal conductivity, analysis, processing.

Маълумот оиди муаллифони: *Зарифзода Моҳира Абдусалом* – д.и.т., профессор, мудири кафедраи техника ва энергетикаи гармои Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ. E-mail: mohira.zaripova@list.ru. Телефон: (992) 93 181 57 11.

Файзова Мунира Алимардоновна – саромӯзгори кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав. E-mail: fayzovamunira@internet.com. Телефон: (992) 90 799 63 67.

Сведения об авторах: *Зарифзода Моҳира Абдусалом* – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой теплотехники и энергетики Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. E-mail: mohira.zaripova@list.ru. Телефон: (992) 93 181 57 11.

Файзова Мунира Алимардоновна – ст.преподаватель кафедры общей физики Бохтарского государственного университета имени Носири Хусрава. E-mail: fayzovamunira@internet.com. Телефон: (992) 90 799 63 67.

Information about the authors: *Zarifzoda Mohira Abdusalom* – doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Heat Engineering and Power Engineering of the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. E-mail: mohira.zaripova@list.ru. Phone: (992) 93 181 57 11.

Fayzova Munira Alimardonovna – Head of the Department of General Physics of the Bokhtar State University named after Nosiri Khusrav. E-mail: fayzovamunira@internet.com. Phone: (992) 90 799 63 67.

Мақола ба редакция ворид шуд: 11.06.2026

Аз тақриз баргашт: 27.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 31.08.2026

**СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛ ОТ АРИСТОТЕЛЯ ДО ГАЛИЛЕЯ:
СТАНОВЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ЗАКОНА И СПОР О ЕГО
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ**

Комили А. Ш., *Давлаткадамова З. Ш.

Бохтарский государственный университет имени Носира Хусрав

***Таджикский государственный педагогический университет имени
Садриддина Айни**

Введение

История представлений о свободном падении принадлежит к самым изученным сюжетам историко-научной литературы, и это создаёт своеобразную трудность: сюжет кажется исчерпанным, между тем согласия по ключевым его вопросам как не было полвека назад, так нет и сегодня. Когда именно Галилей пришёл к соотношению, связывающему путь с квадратом времени? Опирался ли он на измерение или на умозаключение? Полемика, начатая А. Койре и продолженная Т. Сеттлом, Р. Нейлором и берлинской группой Ю. Ренна и П. Дамерова, завершиться, по-видимому, и не может: она касается не столько фактов, сколько того, что вообще считать научным открытием и какие следы оно оставляет в источниках [13, с. 173].

Настоящая статья посвящена истории учения о движении тяжёлых тел. Здесь прослеживается одна его линия – свободное падение. Движение тела, брошенного под углом к горизонту, мы выносим в отдельную публикацию: у этой линии иной круг источников (прежде всего баллистическая литература XVI в.), иная внутренняя логика и во многом иная историография. В дальнейшем предполагается обратиться к средневековой кинематике и к рецепции галилеевой науки о движении во второй половине XVII в.

Цель работы – проследить, каким образом из качественного перипатетического учения о естественном движении вырос количественный кинематический закон, и показать, что переход этот не сводится ни к простому «опровержению опытом», ни к чистому умозрению.

Оговорим методологическую позицию. Мы стараемся избегать презентизма – истолкования старых текстов так, будто в них уже скрыты позднейшие формулы. Аристотелевское *βάρος* («тяжесть») не есть вес в ньютоновском смысле; галилеева «степень скорости» не есть мгновенная скорость как производная; правило нечётных чисел не есть формула пути равноускоренного движения. Историческая точность здесь не педантизм, а

условие понимания: именно несовпадение понятийных систем объясняет, почему очевидный для нас результат потребовал двух тысячелетий.

Падение тяжёлых тел в перипатетической физике

Учение Аристотеля о падении встроено в общую теорию естественного движения и не может быть оценено в отрыве от неё. Тяжёлое тело движется вниз не потому, что его нечто толкает, а потому, что стремится к своему естественному месту – к центру мира; движение прекращается, когда место достигнуто [1, с. 122-123]. Скорость такого движения определяется двумя обстоятельствами: «тяжестью» самого тела и свойствами среды, в которой оно движется.

Наиболее отчётливо количественная сторона выражена в четвёртой книге «Физики», в аргументе против существования пустоты. Аристотель констатирует, что «одна и та же тяжесть и тело перемещаются быстрее по двум причинам»: из-за различия среды, через которую совершается перемещение, и из-за избытка тяжести или лёгкости самого тела. Русский перевод В. П. Карпова сохраняет здесь неуклюжесть подлинника, и неуклюжесть эта содержательна: «тяжесть» и «тело» стоят рядом как нечто почти нераздельное. Далее говорится, что отношение скоростей равно обратному отношению плотностей сред, откуда и следует невозможность пустоты: если сопротивление обратится в нуль, скорость окажется бесконечной, что для Аристотеля абсурдно [1, с. 59-221]. В трактате «О небе» (кн. I, гл. 6) добавлено соотношение для самих тел: времена падения обратны весам.

Существенно, что перед нами не «закон падения» в позднейшем смысле, а соотношение, описывающее установившееся движение в сопротивляющейся среде. И. С. Дмитриев справедливо замечает, что Аристотель и Галилей обсуждали разные физические ситуации и вкладывали разный смысл в слово «тяжесть»: у Стагирита речь идёт о движении в среде, чьё сопротивление существенно, тогда как Галилей рассматривает предельный случай – движение в отсутствие сопротивления [6, с. 189]. Добавим наблюдение, которое кажется нам методически важным: для медленного падения малых плотных тел в вязкой среде скорость установившегося движения действительно пропорциональна весу. Аристотелевское соотношение, таким образом, не есть простая ошибка наблюдения; оно верно описывает область явлений, которую сам Аристотель и имел в виду.

Ускорение при падении Аристотелю также было известно: он объяснял его тем, что тело как бы «прибавляет в тяжести» по мере приближения к своему естественному месту [1, с.122]. Но количественного описания перипатетическая физика дать не могла – у неё не было ни понятия ускорения, ни аппарата для сравнения величин разной природы.

Арабо-персидская традиция: «майл» Ибн Сины, «ускорение» ал-Багдади

Между Аристотелем и латинской схоластикой лежит звено, которое в кратких изложениях истории механики обычно выпадает. Сочинения Аристотеля были переведены на арабский язык в IX в. и в течение следующих трёх столетий оставались предметом непрерывного комментирования; именно в этой среде были впервые высказаны возражения перипатетической динамике, которые позднее обнаруживаются у парижских магистров. Обзор традиции дан в монографии М.М. Рожанской [10] и А.Ш. Комили [8]. Оговорим сразу то, о чём легко забыть: восточные авторы не отвергали физику Аристотеля, а устраняли в ней внутренние затруднения, работая внутри её понятийной системы. От этого их результаты не становятся менее значительными, но и читать их следует соответственно.

Центральная фигура здесь – Абу Али ибн Сина (980-1037), известный латинскому Западу как Авиценна. В физическом разделе «Книги исцеления», составленной в 1020-е гг., он отказывается от аристотелевского объяснения полёта брошенного тела через действие среды и вводит понятие майл – склонности, сообщаемой самому телу тем, кто его бросил. Ибн Сина разделяет силу движущего и склонность, приобретаемую движимым, а также различает склонность естественную (майл таби), присущую тяжёлому телу, насильственную (майл касри), сообщённую извне, и душевную (майл нафсони), которой объясняются движения живых существ. Тело движется, пока склонность не израсходована, а расходуется она внешними воздействиями – прежде всего сопротивлением среды [8; 17].

Отсюда следует вывод, который цитируют чаще всего: в пустоте склонность не расходовалась бы ничем и движение не прекратилось бы. А. Сайылы, разбиравший эту линию рассуждения, обращает внимание и на то, что величина майла связывается у Ибн Сины с весом тела и его скоростью, и видит здесь понятие, близкое к позднему количеству движения [17, с.480]. Именно тут, однако, требуется осторожность, о которой мы предупреждали во введении. Заключение о непрекращающемся движении служило Ибн Сине доводом против существования пустоты. Пустоту он отвергал прямо [8, с.52]: мнение о её существовании Ибн Сина называет близким к воображению и далёким от разума, а происхождение этого мнения объясняет тем, что невидимый глазом воздух принимают за отсутствие чего бы то ни было. Объявить его вывод законом инерции значит вынуть заключение из той системы, ради защиты которой оно было получено. Сопоставление майла с количеством движения тоже остаётся предметом обсуждения: понятия эти принадлежат разным теоретическим языкам, и точного перевода одного в другой не существует.

Для нашей темы, однако, важнее не полёт брошенного тела, а падение – и здесь Ибн Сина сказал больше, чем обычно принято думать. «Книга исцеления» различает движение равномерное (ал-мустават), «не содержащее никакого различия», и движение дифформное [8, с. 56-57]. Равномерным Ибн Сина считает лишь круговое движение небесных тел; движения земные дифформны, причём различие между двумя их видами он проводит именно по характеру неравномерности: естественное движение к концу ускоряется, а насильственное замедляется. Ускорение падающего тела объясняется тем, что источник движения сообщает телу новые доли стремления, которые накладываются на уже накопленные, – движение поддерживается последовательными порциями майл.

Пояснение, которым Ибн Сина при этом пользуется, стоит привести: оно хорошо показывает характер его физики. Ускоряющееся падение он сравнивает с нагреванием. Тело, уже нагретое до некоторой степени, способно принять ещё большее количество тепла, и ничто внутри него этому не препятствует; точно так же тело, уже обладающее некоторой степенью скорости, оказывается способно воспринять дополнительную порцию майл, отчего движение и становится интенсивнее. Перед нами рассуждение по аналогии между интенсификацией разных качеств – и аналогия эта не случайная. В той же логике постепенного нарастания интенсивности будут спустя три столетия работать оксфордские калькуляторы, о которых речь пойдёт ниже; разница в том, что у них эта логика получит геометрическое и числовое выражение, а у Ибн Сины остаётся качественной.

Для истории свободного падения ещё существеннее шаг, сделанный столетием позже. Абу-ль-Баракат ал-Багдади (1080-1165), автор «Китаб ал-мутабар», принадлежал к тому кругу, который в литературе называют школой Авиценны; к нему относят также Фахр-ад-дина ар-Рази и Насир-ад-дина ат-Туси [8, с. 56-57]. Он принял понятие склонности от Ибн Сины и довёл его применение к падению до отчётливой формулировки. Ускорение падающего тела он объяснил тем, что тяжесть сообщает телу новую склонность прежде, чем израсходована предыдущая: склонности накладываются одна на другую, и потому скорость возрастает. Отсюда следовал вывод, прямо противоречащий перипатетической динамике: постоянно действующая причина вызывает не равномерное, а ускоренное движение [15, с. 27].

С учителем ал-Багдади разошёлся в двух пунктах, и оба существенны. Во-первых, вопреки Ибн Сине он допускал существование пустоты и даже возможность насильственного движения в ней – правда, движения не бесконечного: оно прекращается, когда тело исчерпает сообщённое ему стремление [8, с. 58]. Во-вторых – и это прямо касается нашей темы – ал-

Багдади полагал, что в брошенном теле обе противоположные склонности присутствуют одновременно. Пока преобладает насильственная, естественная лишь замедляет движение; по мере того как первая иссякает, вторая берёт верх, и тело начинает падать, встречая всё более слабое сопротивление. Переход от подъёма к падению перестаёт быть сменой двух несовместимых состояний и становится непрерывным перевесом одного стремления над другим – шаг, значение которого трудно переоценить.

Назовём, наконец, ещё одну линию, важную для истории падения, – продолжительный спор Ибн Рушда (Аверроэса, 1126-1198) с Ибн Баджжой (Авемпасом, 1058-1138) о движении в пустоте. Ибн Баджжа доказывал, что и в отсутствие сопротивления тело движется с конечной скоростью, поскольку пройти расстояние всё равно требуется; иначе, замечал он, небесные тела перемещались бы мгновенно, ведь в надлунном мире сопротивляться движению нечему [8, с. 89]. Забегая вперёд, отметим сходство – не более того – этого хода мысли с гидростатической схемой раннего Галилея, о которой речь пойдёт в следующем разделе: там скорость падения тоже определяется не одним сопротивлением среды, а разностью, остающейся и при его убывании.

Ш. Пайнс, которому принадлежит основное исследование этого автора, оценил его теорию движения как древнейшее отрицание основного динамического закона Аристотеля и как смутное предвосхищение основного закона классической механики [15, с. 26-28]. Оценка выразительная, и всё же слово «смутное» в ней существенно. У ал-Багдади нет ни меры склонности, ни правила сложения склонностей, ни – что для нашей темы решающе – какого-либо соотношения между пройденным путём и временем. Препятствие остаётся тем же, о котором шла речь выше: пока скорость не может быть выражена как отношение разнородных величин, качественно верное объяснение ускорения не превращается в закон падения. Расстояние от «Китаб ал-мутабар» до третьего дня «Бесед» измеряется не остротой догадки, а перестройкой математического языка. Отметим напоследок совпадение: майл определяется у Ибн Сины как постоянная форма, сохраняющаяся в теле, и в этом качестве близок к импетусу Жана Буридана, появившемуся тремя столетиями позже; оба понятия к тому же прилагались их авторами к одной и той же задаче – ускорению падения тяжёлых тел [8, с. 60]. К вопросу о том, каким путём этой идеи дошли до латинских магистров, мы обращаемся ниже.

Средневековая перестройка: импетус и мертонское правило

Критика перипатетической динамики началась задолго до Возрождения. Позднеантичный комментатор Иоанн Филопон возражал, что при падении с большой высоты двух тел, различающихся по весу вдвое, разность времён вовсе не оказывается двукратной; он же выдвинул идею силы, вкладываемой в

брошенное тело и остающейся в нём. М. Клагетт подробно проследил, как эта линия критики через арабских авторов вошла в латинскую схоластику и оформилась в XIV в. в теорию импетуса Жана Буридана.

Импетус позволял объяснить и ускорение: падающее тело непрерывно получает от собственной тяжести добавочный импетус, накладывающийся на уже приобретённый. Объяснение это динамическое – оно отвечает на вопрос «почему», а не «как именно».

Ответ на вопрос «как именно» дала другая традиция – кинематическая, развитая в Оксфорде, в Мертон-колледже, в работах У. Хейтсбери, Р. Суайнсхеда и Дж. Дамблтона. Её главный результат известен как мертонское правило, или правило средней степени скорости: тело, движущееся равномерно-неравномерно (*uniformiter difformis*), проходит за данный промежуток времени такой же путь, какой прошло бы за то же время тело, движущееся равномерно со скоростью, равной средней между начальной и конечной [9, с. 108].

Николай Орем в «Трактате о конфигурациях качеств и движений» придал этому правилу наглядную геометрическую форму: если по горизонтали откладывать время, а по вертикали – интенсивность скорости, то равномерно-неравномерное движение изобразится прямоугольным треугольником, площадь которого равна площади прямоугольника, построенного на средней ординате. Читатель без труда узнаёт здесь чертёж, которым спустя без малого три столетия воспользуется Галилей (рисунок 1).

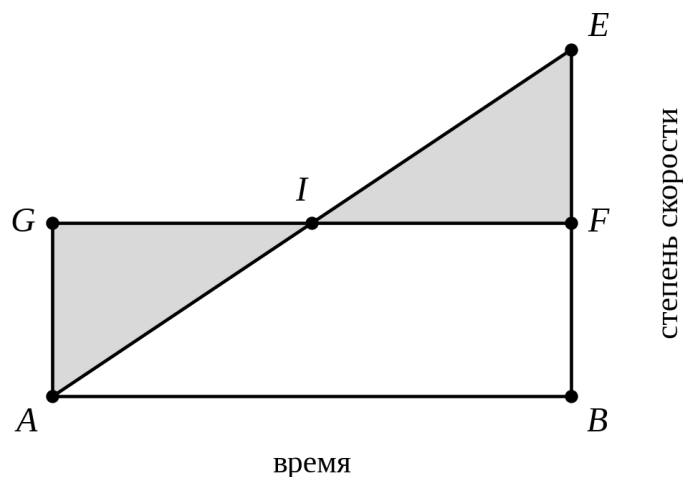


Рисунок 1. Теорема о средней степени скорости: треугольник AEB равновелик прямоугольнику AGFB (построено авторами по описанию в [5; 9])

И всё же ни мертонцы, ни Орем не связывали своё правило с реальным падением тел. Для них это была теорема о «широте форм», упражнение в логике интенсификации качеств, приложимое к чему угодно – к скорости,

теплоте, милосердию. Утверждение, что скорость падающего тела нарастает равномерно именно по времени, требовалось ещё высказать и обосновать физически; переход от математической теоремы к закону природы не был ни автоматическим, ни быстрым [8; 9]. И. Н. Веселовский формулирует это кратко: средневековая кинематика подготовила язык будущей науки о движении, но не её предмет [2, с.176].

Ранний Галилей: архимедовская схема «De motu»

Галилей подошёл к задаче не столько от схоластической традиции, сколько от Архимеда. В пизанском трактате «De motu» (около 1590 г., при жизни автора не опубликован) предлагается гидростатическая модель падения: тело движется вниз со скоростью, определяемой разностью его удельного веса и удельного веса среды. Модель имеет очевидное достоинство – она объясняет, почему в воде дерево всплывает, а свинец тонет, – и столь же очевидный недостаток: она даёт постоянную скорость и не описывает ускорения [11, с.74].

Из неё следует, что тела из одного вещества должны падать в одной среде одинаково быстро независимо от размера. Именно этот вывод, а не позднейший закон падения, стоял за пизанскими рассуждениями молодого Галилея [6; 11]; между утверждениями «тела одного вещества падают одинаково» и «все тела в пустоте падают одинаково» лежит целая перестройка физической картины.

О знаменитом опыте с падением тел с Пизанской башни следует говорить с осторожностью. Единственный источник рассказа – жизнеописание, составленное учеником Галилея Винченцо Вивиани спустя десятилетия после событий и опубликованное лишь в XVIII в. Историография давно относится к этому свидетельству сдержанно, и не только из-за поздней датировки: ко времени, к которому Вивиани относит опыт, Галилей ещё не располагал окончательной формулировкой закона падения, так что проверять ему было попросту нечего [6; 11]. Живучесть эпизода объясняется, полагаем, его наглядностью, а вовсе не его источниковой надёжностью.

Решающий шаг был сделан позднее, в падуанский период, приблизительно между 1602 и 1609 гг. Именно тогда в рабочих бумагах Галилея появляются записи, свидетельствующие о систематических опытах с наклонной плоскостью и маятником, о вычислениях, а также – что для нас особенно существенно – о поиске правильного определения ускоренного движения [11; 13].

Закон падения в «Беседах»: определение, теоремы, опыт

«Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки» (Лейден, 1638) излагают учение о движении в третий и четвёртый «дни». Третий день открывается кратким разделом о равномерном

движении, за которым следует главный раздел – о движении естественно ускоренном [5, с. 239; 254-259].

Выбор определения равноускоренного движения

Галилей начинает не с опыта, а с определения. Равноускоренным он называет движение, при котором равные приращения скорости приобретаются за равные промежутки времени. Выбор этот отнюдь не самоочевиден. Альтернативой было определение, связывающее приращение скорости с пройденным путём, и Галилей, судя по рабочим бумагам, некоторое время его рассматривал [10; 13]. В «Беседах» второе определение отвергается доказательством от противного; современные комментаторы отмечают, что аргумент этот логически небезупречен, хотя вывод верен.

Обоснование выбора у Галилея не эмпирическое, а методологическое: природа, рассуждает он устами Сальвиати, пользуется средствами простейшими, а простейшим способом нарастания является нарастание, пропорциональное времени. Именно такие места дали Койре основание говорить о платонизме Галилея – о примате математической гипотезы над наблюдением [7, с.144]. Оценка эта односторонняя, но текстуальное основание у неё есть.

Теорема о средней скорости и правило нечётных чисел

Далее следует цепочка теорем. Первая – та самая мертонская: путь, проходимый при равноускоренном движении из состояния покоя, равен пути, который тело прошло бы за то же время, двигаясь равномерно с половиной конечной скорости. Доказательство ведётся по-оремовски, через сравнение площадей треугольника и прямоугольника [5; 9] (см. рисунок 1).

Из первой теоремы выводится вторая: пути, проходимые от начала движения, относятся между собой как квадраты времён. В следствии Галилей формулирует наиболее удобную для проверки форму – правило нечётных чисел: за последовательные равные промежутки времени тело проходит пути, относящиеся как 1: 3: 5: 7 и так далее (рисунок 2).

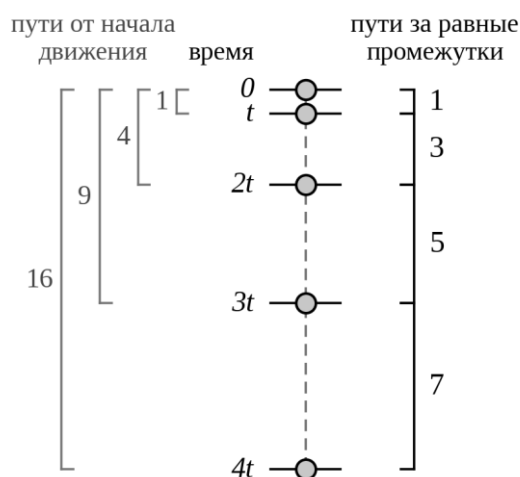


Рисунок 2. Правило нечётных чисел: пути за последовательные равные промежутки времени и пути, отсчитанные от начала движения (построено авторами по [5])

Подчеркнём терминологическую тонкость, о которой часто забывают. Ни в одной из этих формулировок нет ускорения как физической величины и нет постоянной ускорения свободного падения. Всё высказано как пропорция между однородными величинами – путями и квадратами времён. Привычная нам алгебраическая запись есть перевод, а не цитата, и злоупотребление ею затемняет существо галилеева достижения [10, с. 175].

Опыт с наклонной плоскостью

Экспериментальное обоснование Галилей строит на замедлении падения. В «Беседах» описан деревянный брус длиной около двенадцати локтей с прорезанным вдоль ребра гладким желобком, оклеенным пергаментом; по желобку пускали тщательно отшлифованный бронзовый шар, а время измеряли по количеству вытекшей из подвешенного ведра воды, взвешивая её на точных весах [5, с. 248]. Опыт повторялся при разных углах наклона и при разной длине пробега, и отношение путей к квадратам времён неизменно сохранялось (рисунок 3).

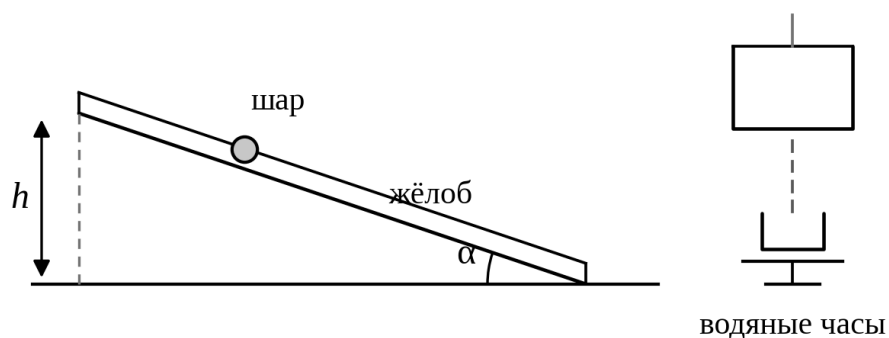


Рисунок 3. Схема опыта с наклонной плоскостью и водяными часами (построено авторами по описанию в [5])

Отдельного внимания заслуживает то, как Галилей оценивает достигнутую точность. Повторяя измерения, свидетельствует Сальвиати, «мы не находили никакой разницы даже на одну десятую времени биения пульса» [5, с. 249]. Фраза эта – вовсе не риторическое украшение: именно она станет впоследствии главным пунктом историографического спора, к которому мы обратимся ниже.

Переход от наклонной плоскости к свободному падению обеспечивается отдельным постулатом: скорости, приобретаемые телом при спуске по наклонным плоскостям, зависят только от высоты спуска, но не от угла наклона [5]. Постулат этот Галилей стремился подкрепить и опытом с маятником, и теоретическим рассуждением; строгого доказательства в рамках его средств он не имел, и это одно из уязвимых мест третьего дня.

Историографический спор об экспериментальных основаниях

Именно описание опыта с наклонной плоскостью стало предметом самого острого спора в галилееведении XX в. А. Койре полагал, что описанная процедура при тогдашних средствах измерения времени не могла дать заявленной точности – той самой, о которой говорит приведённая выше фраза о десятой доле пульса, и заключал, что эксперимент у Галилея играет роль иллюстрации к заранее полученному математическому результату, а не роль его основания [7, с.144]. Это была не придирка, а часть общей концепции: научная революция XVII в., по Койре, есть прежде всего революция метафизическая – замена аристотелевского замкнутого космоса математизированной природой.

В 1961 г. Т. Сеттл опубликовал результаты физической реконструкции опыта средствами, доступными в начале XVII в. Вывод оказался обратным ожидаемому: водяные часы описанного типа дают вполне достаточную для галилеевых выводов воспроизводимость, а сам опыт выполним одним человеком [14, с. 363-378]. Последствия этой работы вышли далеко за пределы

галилееведения: она положила начало экспериментальной реконструкции исторических опытов как самостоятельному жанру.

Дальнейшее развитие спора было осторожнее. Р. Нейлор, соединив реконструкции с анализом рукописей, показал, что соотношение теории и опыта у Галилея менялось: до 1604 г. эксперимент скорее наводил на гипотезу, впоследствии служил её проверкой, а ряд описанных в «Беседах» наблюдений действительно ближе к мысленным [12, с. 44].

Наиболее радикальную ревизию предложила берлинская группа. В обширном исследовании «Охота на белого слона» Ю. Ренн, П. Дамеров, С. Ригер и Д. Джулини поставили под сомнение сам вопрос «когда Галилей открыл закон падения». Анализ рабочих листов галилеева фонда показывает, что привычные критерии датировки открытия – первое упоминание, первая явная формулировка, первое доказательство, первая публикация – дают взаимно несовместимые ответы; «открытие» удобнее описывать как процесс перестройки понятийной системы, а не как событие, поддающееся датировке [13, с. 314].

Эта линия смыкается с выводом Дамерова и его соавторов о «доклассической механике»: Галилей, Декарт и Бекман работали внутри аппарата, унаследованного от Аристотеля и от античной теории пропорций, и классическая механика возникла не как его отрицание, а как результат исчерпания его возможностей [10, с. 142]. Позиция эта примиряет крайности прежнего спора: опыты были реальными, но гипотеза не выводилась из них индуктивно – язык, на котором её можно было бы вывести, ещё не сложился.

Отметим обстоятельство, редко оговариваемое в учебной литературе: у Галилея нет и не могло быть измерения ускорения свободного падения – его результаты суть отношения, а не абсолютные значения. Численное определение этой постоянной требует надёжного хронометража и относится уже ко второй половине XVII в.

От кинематики Галилея к динамике Ньютона

Закон падения у Галилея – закон кинематический. Он описывает, как движется тело, но не объясняет, почему оно движется именно так: понятий силы и массы в современном смысле в «Беседах» нет, а «тяжесть» остаётся, по существу, названием причины, а не измеримой величиной [2; 3].

Показательно и другое: галилеево представление о сохранении движения не тождественно закону инерции. В «Диалоге о двух главнейших системах мира» сохраняющимся мыслится движение по окружности, концентрической с Землёй, – след космологической традиции, от которого Галилей так и не отказался. Койре видел в этом незавершённость галилеевой

реформы; последовательное понятие инерциального движения появляется лишь у Декарта и закрепляется у Ньютона.

Включение закона падения в дедуктивную систему произошло только в «Математических началах натуральной философии» (1687). У Ньютона падение перестаёт быть самостоятельным явлением: это частный случай движения под действием центростремительной силы, а практическое постоянство ускорения вблизи поверхности Земли оказывается следствием того, что на расстояниях, малых сравнительно с радиусом планеты, сила почти не меняется. Вопрос «почему все тела падают одинаково», у Галилея не имевший ответа, у Ньютона превращается в утверждение о пропорциональности веса и массы – утверждение, которое он специально проверял маятниковыми опытами с телами из разных веществ.

П. П. Гайденко подчёркивает, что переход этот означал смену самого понятия науки: от описания того, как происходят явления, к построению системы, из которой они выводятся [3, с. 276]. Потому и историю свободного падения естественно доводить не до 1638 г., а до 1687-го.

Заключение

Подведём итоги. Во-первых, привычное противопоставление «Аристотель ошибался – Галилей проверил опытом» исторически некорректно. Перипатетическое соотношение описывало движение в сопротивляющейся среде и в своей области было не так уж далеко от наблюдаемого; расхождение возникает потому, что Галилей рассматривал иной, предельный случай.

Во-вторых, решающим препятствием на пути к закону была не нехватка наблюдений, а понятийный аппарат – прежде всего отсутствие скорости как отношения разнородных величин и связанная с этим власть античной теории пропорций.

В-третьих, вопрос об экспериментальной основе закона простого ответа не имеет. Реконструкции Сеттла и исследования Нейлора опровергли крайний тезис Койре, но не подтвердили и индуктивистскую картину. Работы берлинской группы позволяют выйти из этой антиномии, заменив вопрос о дате открытия вопросом, о механизме перестройки понятий.

В-четвёртых, закон падения оставался кинематическим утверждением вплоть до Ньютона и лишь в «Началах» получил динамическое обоснование.

Литература

1. *Аристотель. Сочинения: в 4 томах. Том 3 / Аристотель; вступительная статья и примечания И. Д. Рожанского. – М.: Мысль, 1981. – 613 с.*

2. *Веселовский, И. Н.* Очерки по истории теоретической механики / И. Н. Веселовский. – М.: Высшая школа, 1974. – 287 с.
3. *Гайденок, П. П.* Эволюция понятия науки XVII-XVIII вв. Формирование научных программ нового времени. Изд. стереотип. / П. П. Гайденок. – М.: Наука, 2017. – 446 с.
4. *Галилей, Г.* Избранные труды: в 2 томах. Том 1 / Г. Галилей; составитель У. И. Франкфурт. – М.: Наука, 1964. – 640 с.
5. *Галилей, Г.* Избранные труды: в 2 томах. Том 2 / Г. Галилей; составитель У. И. Франкфурт. – М.: Наука, 1964. – 572 с.
6. *Дмитриев, И. С.* Peripateticus creatus: Галилей против Аристотеля / И. С. Дмитриев // СХОЛН. Философское антиковедение и классическая традиция. – 2017. – Т. 11, вып. 1. – С. 185–193.
7. *Койре, А.* Галилей и Платон / А. Койре // Очерки истории философской мысли: о влиянии философских концепций на развитие научных теорий / А. Койре; перевод с французского Я. А. Ляткера; под редакцией А. П. Юшкевича. – Москва: Прогресс, 1985. – С. 128–153.
8. *Комили, А. Ш.* Физика Авиценны. Издание 2-е. / А. Ш. Комили – Душанбе: Дониш, 2013. – 152 с.
9. *Ньютон, И.* Математические начала натуральной философии / И. Ньютон; перевод с латинского и комментарии А. Н. Крылова; под редакцией Л. С. Полака. – М.: Наука, 1989. – 711 с.
10. *Рожанская, М. М.* Механика на средневековом Востоке / М. М. Рожанская. – М.: Наука, 1976. – 324 с.
11. *Clagett, M.* The Science of Mechanics in the Middle Ages / M. Clagett. – Madison: University of Wisconsin Press, 1959. – 740 p.
12. *Damerow, P.* Exploring the Limits of Preclassical Mechanics: a study of conceptual development in early modern science: free fall and compounded motion in the work of Descartes, Galileo and Beeckman / P. Damerow, G. Freudenthal, P. McLaughlin, J. Renn. – 2nd edition. – New York: Springer, 2004. – 440 p.
13. *Drake, S.* Galileo at Work: his scientific biography / S. Drake. – Chicago: University of Chicago Press, 1978. – 536 p.
14. *Naylor, R. H.* The role of experiment in Galileo's early work on the law of fall / R. H. Naylor // Annals of Science. – 1980. – Vol. 37, no. 4. – P. 363–378.
15. *Pines, S.* Abu'l-Barakat al-Baghdadi, Hibat Allah / S. Pines // Dictionary of Scientific Biography. Vol. 1. - New York: Charles Scribner's Sons, 1970.- P. 26-28.

16. *Renn, J.* Hunting the White Elephant: When and How did Galileo Discover the Law of Fall? / J. Renn, P. Damerow, S. Rieger, D. Giulini // *Science in Context*. – 2000. – Vol. 13, no. 3–4. – P. 299-419.
17. *Sayili, A.* Ibn Sina and Buridan on the Motion of the Projectile / A. Sayili // *Annals of the New York Academy of Sciences*.-1987.-Vol. 500, no. 1.- P. 477-482.
18. *Settle, T. B.* An Experiment in the History of Science / T. B. Settle // *Science*. – 1961. – Vol. 133, no. 3445. – P. 19-23.

СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛ ОТ АРИСТОТЕЛЯ ДО ГАЛИЛЕЯ: СТАНОВЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ЗАКОНА И СПОР О ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ

Аннотация. В статье прослеживается формирование закона свободного падения тел – от качественного учения Аристотеля о естественном движении до кинематических теорем «Бесед» Галилея и динамического обоснования у Ньютона. Показано, что расхождение между перипатетической и галилеевой трактовками падения объясняется не только ошибкой наблюдения, но и тем, что авторы рассматривали разные физические ситуации и вкладывали разный смысл в понятие тяжести. Особое внимание уделено роли античной теории пропорций как понятийного ограничения, долго препятствовавшего введению скорости как отношения разнородных величин, а также мертонскому правилу средней скорости и его геометрической репрезентации у Николая Орема. Отдельно разобран историографический спор об экспериментальных основаниях закона: тезис Александра Койре (1892-1964) о мысленном характере галилеевых опытов, реконструкция Томаса Сеттла (1930-2020), исследования Рональда Нейлора (1937-2018) и работы берлинской группы Юргена Ренна (1956 г.р.) и Петера Дамерова (1939-2011), поставившие под сомнение само понятие «даты открытия». Статья открывает цикл работ по истории учения о движении тяжёлых тел; движение тела, брошенного под углом к горизонту, рассматривается в отдельной публикации. Статья посвящена физикам и историкам физики, изучающие законы движения и проблемы свободного падения.

Ключевые слова: история физики, история механики, свободное падение, Аристотель, Авиценна, Галилей, Ньютон, теория импетуса, мертонское правило, равноускоренное движение, историография науки.

FREE FALL FROM ARISTOTLE TO GALILEO: THE MAKING OF A KINEMATIC LAW AND THE DEBATE OVER ITS EXPERIMENTAL FOUNDATIONS

Annotation. The paper traces the formation of the law of free fall, from Aristotle's qualitative account of natural motion to the kinematic theorems of Galileo's Discorsi and their dynamical grounding in Newton's Principia. It is argued that the divergence between the Peripatetic and the Galilean treatments of fall cannot be reduced to an error of observation: the two authors addressed different physical situations and understood heaviness differently. Nicole Oresme pays particular attention to the ancient theory of proportions as a conceptual constraint that long prevented the introduction of speed as a ratio of unlike magnitudes, and to the Merton mean-speed rule together with its geometrical representation. The historiographical controversy over the experimental basis of the law is examined separately: Alexander Koyré's (1892-1964) thesis concerning the thought-experimental character of Galileo's procedures, Thomas Settle's (1930-2020) replication, Ronald Naylor's (1937-2018) studies, and the work of the Berlin group led by Jürgen Renn (born 1956) and **Peter** Damerow (1939-2011), which called into question the very notion of a date of discovery. The article focuses on physicists and historians of physics who study the laws of motion and the problems of free fall.

Keywords: history of physics, history of mechanics, free fall, Aristotle, Avicenna, Galileo, Newton, impetus theory, Merton rule, uniformly accelerated motion, historiography of science.

АФТИШИ ОЗОДИ ҶИСМҲО АЗ АРАСТУ ТО ГАЛИЛЕЙ: ПАЙДОИШИ ҚОНУНИ КИНЕМАТИКӢ ВА БАҲС ПЕРОМУНИ АСОСҲОИ ТАҶРИБАВИИ ОН

Аннотатсия. Дар мақола раванди ташаккули қонуни афтиши озод аз назарияи ҳаракати табиӣи Арасту то теоремаҳои кинематикӣ дар асари «Мувоҳисаҳо»-и Галилей ва асосноккунии динамикии Нютон мавриди баррасӣ қарор гирифтааст. Дар он нишон дода шудааст, ки тафовут байни тафсирҳои машоӣи арастуйӣ ва шарҳҳои галилейӣи ҳаракати афтиш на танҳо ба хатои мушоҳидавӣ, балки ба он вобаста аст, ки муаллифон ҳолатҳои гуногуни физикиро баррасӣ карда, ба мафҳуми вазнинӣ маъноҳои гуногун додаанд. Таваҷҷуҳи хоса ба нақши назарияи классикии таносубҳо ҳамчун маҳдудияти мафҳумӣ, ки муддати тӯлонӣ қорӣ шудани мафҳуми суръатро ҳамчун нисбати миқдорҳои гуногунчинс бозмедошт, ба теоремаи Мертон оид ба суръати миёна ва тасвири геометрии он аз ҷониби Никол Орем тавсиф мегардид. Баҳси таърихнигорӣ оид ба асосҳои таҷрибавии ин қонун ба таври алоҳида чунин баррасӣ мешавад: тезиси Александр Койре (1892-1964) дар бораи хусусияти таҷрибаи зеҳнӣ доштани таҷрибаҳои Галилей, бозсозии Томас Сеттл (1930-2020), пажӯҳиши Роналд Нейлор (1937-2018) ва фаъолияти гурӯҳи Берлин таҳти роҳбарии Юрген Ренн (тав. 1956) ва Петер Дамеров (1939-2011), ки ҳуди мафҳуми «санаи кашфиёт»-ро зерӣ суол бурдаанд. Мақола ба физикдонон ва мутахассисони

таърихи физика, ки қонунҳои ҳаракат ва масъалаҳои афтиши озодро меомӯзанд, бахшида шудааст.

Калидвожаҳо: таърихи физика, таърихи механика, афтиши озод, Арасту, Ибни Сино, Галилей, Нютон, назарияи импетус, қоидаи Мертон, ҳаракати якхела шитобгиранда, таърихшиносии илм.

Сведения об авторах: **Комили Абдулхай Шарифзода** – д.ф.-м.н., к.ист.н., профессор Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрав; Тел.: (+992) 931031800; E-mail: akomili2006@mail.ru

Давлатқадамова Зарифмоҳ Шоназаровна – Соискатель кафедры общей физики Таджикского государственного педагогического университета имени Садриддина Айни; Тел.: (+992) 043469696; E-mail: zarifmodavlatqadamova@gmail.com

Маълумот дар бораи муаллифон: **Комилӣ Абдулҳай Шарифзода** – д.и.ф.-м., н. и. таър., профессори Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав; Тел.: (+992) 931031800; E-mail: akomili2006@mail.ru

Давлатқадамова Зарифмоҳ Шоназаровна – унвонҷӯи кафедраи физикаи умумии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни; Тел.: (+992) 043469696; E-mail: zarifmodavlatqadamova@gmail.com

Information about the authors: **Komili Abdulhay Sharifzoda** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Candidate of Historical Sciences, Professor at Bokhtar State University named after Nosir Khusrav; Phone: (+992) 931031800; E-mail: akomili2006@mail.ru

Davlatqadamova Zarifmoh Shonazarovna – Postgraduate researcher at the Department of General Physics, Sadriddin Ayni Tajik State Pedagogical University; Phone: (+992) 043469696; E-mail: zarifmodavlatqadamova@gmail.com

Мақола ба редакция ворид шуд: 06.06.2026

Аз тақриз баргашт: 27.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 28.08.2026

УДК 544.3:666.76

АСОСҲОИ ФИЗИКАВИЮ ХИМИЯВИИ ТЕХНОЛОГИЯИ МАВОДҲОИ ОТАШБАРДОР

Муҳаббатов Х. Қ., Алишери Зукурё

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни

Муқаддима. Самаранокии равандҳои технологӣ ҳангоми пухтани маҳсулоти саноатӣ ва керамикӣ бениҳоят ба сифат ва устувории таҷҳизоти оташбардоре, ки дар печҳои ҳарораташон баланд истифода мешаванд, вобаста аст. Шароити истифодабарии таҷҳизоти оташбардор бо таъсири маҷмӯии ҳароратҳои баланд (зиёда аз 1600°C), бори механикӣ ва тағйирёбии шадиди ҳарорат тавсиф меёбад.

Маҳсулоти оташбардор чи аз назари миқдор ва чи аз назари арзиш қисми асосии маҳсулоти керамикии дар Ҷумҳурии Тоҷикистон истифодашавандаро ташкил медиҳанд. Ин омил бо он асоснок карда мешавад, ки маҳсулоти оташбардор дар соҳаи металлургияи кишвар, хусусан дар истеҳсоли алюминии аввалия (КВД «ТАЛКО») ва дигар корхонаҳои металлургию кӯҳкорӣ ҷумҳурӣ, ҳамчун пӯшишҳои (футеровкаҳои) гуногуни печҳои электролизӣ, кӯраҳои гудохта ва унсурҳои барои рехтану интиқоли гудохтаҳои металлӣ васеъ истифода мешаванд. Бинобар ин, воридот ва саноати маҳсулоти оташбардори дохилии кишвар маҳз барои қонё гардонидани ниёзҳои истеҳсолоти металлургии ватанӣ нигаронида шудааст. Талаботи асосӣ ба ин маҳсулот дар ин ҳолат оташбардорӣ онҳо - яъне қобилияти тоб овардан ба ҳарорати метали гудохта ва устуворӣ ҳангоми тамос бо он мебошад.

Хусусияти истифодаи маҳсулоти оташбардор дар металлургияи ватанӣ мавҷудияти намудҳои гуногуни пӯшишҳо мебошад, ки системаи ҳифзи бисёрқабатаи ба раҳнашавӣ устуворро ташкил медиҳанд. Дар ин соҳаҳо маҳсулоти оташбардор якҷаҳатта ё бо шумораи ками давраҳои гармивазкунӣ истифода мешаванд. Чӣ тавре ки дар таҳлилҳои соҳавӣ омадааст: *«Маҳсулоти оташбардор қисми асосии футеровкаҳоро ташкил дода, аксаран хусусияти истифодаи якҷаҳата доранд»* [8, с. 15].

Талаботи мазкур зарурати таҳия ва тадқиқи маводҳои оташбардори баландсифатро дар асоси системаи оксидҳои $Al_2O_3-SiO_2$, хусусан таркибҳои корундӣ ва муллитӣ, тақозо менамояд [10, с. 194]. Афзоиши муҳлати хизмати таҷҳизоти оташбардор ва баланд бардоштани устувории ҳароратии он тавассути танзими сохтори микроскопии мавод (микроструктура) ва сохтани каркаси устувори кристаллӣ ба даст оварда мешавад. Барои ин, омӯзиши амиқи қонуниятҳои физикавӣю химиявӣю равандҳои фазаӣ ҳангоми синтеризатсия (пухтан) аҳамияти аввалиндараҷаи илмӣ ва амалӣ дорад.

Мавод ва методҳои тадқиқот. Дар асоси таҳлили хусусиятҳои истеҳсолот ва талаботи техникаи пешниҳодшаванда ба намудҳои ҳарораташон баланди керамикаи техникӣ, метавон талаботи физикавӣю химиявӣю сохторӣ зеринро ба таҷҳизоти оташбардор, ки барои сохти маҳсулоти керамикӣ дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон зарур аст, шакл дод:

1. Оташбардорӣ мавод бояд аз ҳарорати пухтани маҳсулот кам набошад (на камтар аз $1650^{\circ}C$).

2. Маҳсулоти оташбардор бояд ба таъсири қувваҳои фишордиҳанда ва ҳамкунанда дар ҳароратҳои баланд устувор бошанд, яъне дорои устувории баланди термомеханикӣ бошанд.

3. Таҷҳизоти оташбардор бояд бе вайроншавӣ ва деформатсия миқдори зиёди давраҳои гармиивазкуниро (на камтар аз 50 давра) дар речаи аз ҳарорати ҳонагӣ то 1600°C ва зиёда аз он тоб оварад.

4. Маводи таҷҳизоти оташбардор набояд дар ҳароратҳои баланд бо маҳсулоти пухташаванда ба реаксияи химиявӣ ворид шавад, то ки часпидани онҳо ба сатҳи оташбардор пешгирӣ карда шавад.

5. Маҳсулоти оташбардор набояд дорои ноқисҳо дар намуди гудохтаҳо ва доғҳои рангаи пайвастагиҳои оҳандор (Fe_2O_3) бошанд, то ифлосшавии сатҳи қисмҳои пухташаванда истисно карда шавад. Дар ин бора М.К. Исмоилова қайд менамояд, ки: «Коркард ва тозакунии гилҳои оташбардори Тоҷикистон аз омехтаҳои оҳан ва титан шартӣ асосии сифати маҳсулот мебошад» [2, с. 97].

Натиҷаҳо ва баррасии онҳо. Тавсифоти физикавӣ ва химиявӣ фазаҳои асосӣ ва нишондиҳандаҳои сохтории маводи оташбардор дар ҷадвали 1 ҷамъбаст карда, оварда шудааст.

Ҷадвали 1.

Тавсифи физикавӣ ва химиявӣ ва сохтории маводи оташбардор

<i>Нишондиҳандаҳои техникӣ ва сохторӣ</i>	<i>Фазаи корундӣ ($\alpha-Al_2O_3$)</i>	<i>Фазаи муллитӣ ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)</i>	<i>Меъёри оптималӣ барои таҷҳизоти оташбардор</i>
<i>Ҳарорати обшавӣ (гудозиш), °C</i>	2050	1850	На камтар аз 1650 – 1700
<i>Ҳарорати оптималии пухтан, °C</i>	1650 – 1750	1600 - 1680	1650 - 1700
<i>Ковокӣи умумии сохтор, %</i>	10 – 15	18 - 25	15 - 30 % (Сохтори сегментӣ)
<i>Термоустуворӣ (миқдори давраҳо дар речаи 20-1600°C)</i>	20 – 30	> 60	На камтар аз 50 давра
<i>Миқдори омехтаҳои зарарнок (Fe_2O_3, ишқорҳо), %</i>	< 0,2	< 0,4	Миқдори ниҳой (минималӣ)

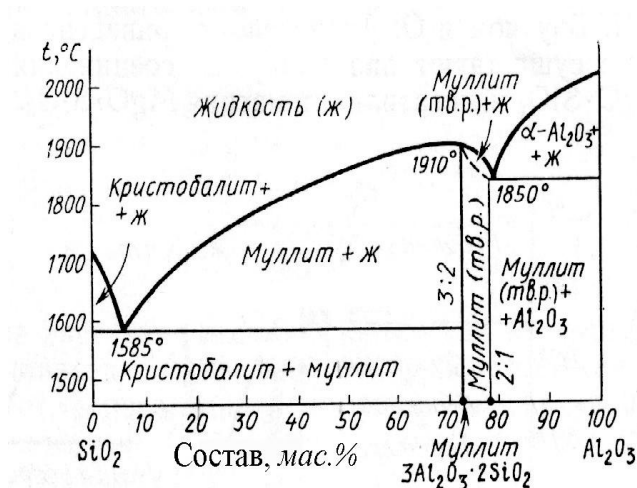
Таҳлили маълумоти ҷадвали 1 нишон медиҳад, ки фазаи корундӣ дорои ҳарорати баланди обшавӣ (2050°C) мебошад, аммо устувории ҳароратии он нисбатан паст аст (20-30 давра). Баръакс, фазаи муллитӣ устувории ҳароратии баландтарро (>60 давра) таъмин менамояд. Аз ин рӯ, барои таҷҳизоти оташбардор меъёри оптималии ковокӣ дар ҳудуди 15-30%

ва ҳарорати пухтан дар диапазони 1650-1700°C муқаррар карда шуд, ки ин устувории баланди термомеханикиро кафолат медиҳад.

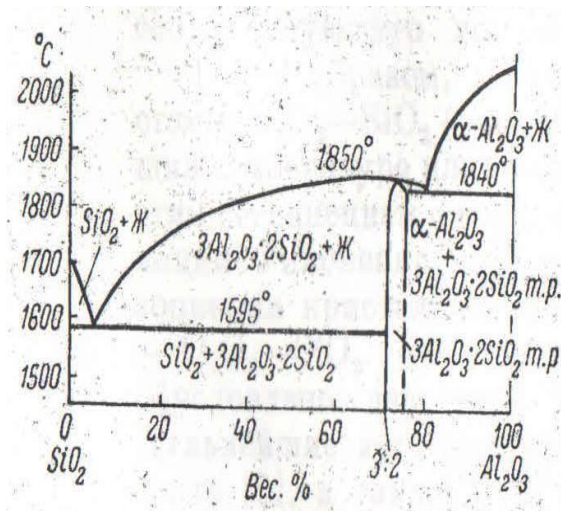
Дар асоси қонуниятҳои маъруфи маводшиносӣ «таркиб - технология - сохтор - хосият», аз байни намудҳои зиёди маводҳои оташбардори мавҷуда, барои ҳалли ин вазифаи илмӣ техникаи маводҳои корундӣ, корундомуллитӣ ва муллитокорундӣ бештар мувофиқ мебошанд [9, с. 112]. Онҳо аз рӯи табиати физикавӣ ва химиявӣ худ ба маводҳои керамикӣ алюмооксидӣ пухташаванда наздиктаранд. Ҳангоми тарҳрезии таркиби шихтаи маводи оташбардор истифодаи маълумотҳо оид ба диаграммаҳои ҳолати системаҳои оксидҳои ба таркиби мавод дохилшаванда, хусусан системаҳои $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ва $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ зарур мебошад. Ин раванд имкон медиҳад, ки принципҳои асосии физикавӣ ва химиявӣ дастрас намудани ин намуди маҳсулот бо назардошти хусусиятҳои сохторӣ ва фазаҳои иловагӣ бо миқдори камтарини омехтаҳои зудғудоз муайян карда шаванд.

Барои маводҳои оташбардори алюмосиликатӣ системаи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ аҳамияти калидӣ дорад, зеро диаграммаи ҳолати он равандҳои физикавӣ ва химиявиро, ки ҳангоми пухтан, гудозиш ва кристаллизатсияи маводҳои керамикӣ дар асоси он истеҳсолшаванда ба амал меоянд, муайян мекунад.

Ба тадқиқи диаграммаи ҳолати ин система дар шароитҳои гуногун корҳои зиёди илмӣ олимони ватанию хориҷӣ бахшида шудаанд. Маълум гардид, ки равандҳои ҳамкории мутақобилаи Al_2O_3 ва SiO_2 ба омилҳои зиёд вобастаанд, бинобар ин натиҷаҳои тадқиқоти муаллифони гуногун ба таври қатъӣ ба ҳам мувофиқат мекунанд.



Расми 1. Диаграммаи ҳолат аз рӯи Торопов-Галахов.



Расми 2. Диаграммаи ҳолат аз рӯи Арамаки-Рой.

Диаграммаҳои ҳолат аз рӯйи Торопов-Галахов ва Арамаки-Рой (расми 1 ва 2) бештар эътирофшуда ва дар амалия тасдиқфта ба шумор мераванд [3, с. 142]. Чӣ тавре ки В.Л. Балкевич нишон медиҳад: «Диаграммаҳои Торопов-Галахов ва Арамаки-Рой равандҳои фазавиро дар системаи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ дақиқ инъикос мекунанд» [1, с. 88; 10, с. 185].

Мувофиқи ин тадқиқотҳо, муллити ҳосилшаванда бо гудозиши конгруэнтӣ ва кристаллизатсияи конгруэнтӣ гудозаҳои таркиби химиявӣ дахлдор тавсиф меёбад. Мавҷудияти маҳлулҳои сахте, ки аз ҷониби муллит ва корунд ҳосил мешаванд, муайян карда шуд, ки дар ин ҳолат ҳарорати эвтектика байни корунд ва маҳлулҳои сахти муллит ҳангоми соҳиб будани 79% мас. Al_2O_3 1850°C-ро ташкил медиҳад. Соҳаи маҳлулҳои сахт диапазони таркибҳоро аз $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ то $2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$ фаро мегирад.

Бояд эътироф намуд, ки мураккабии равандҳои ҳамкориҳои мутақобилаи фазавӣ дар ин система вобаста ба таносуби гирифташудаи $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$, мавҷудияти омехтаҳо ва ҳолати аввалияи физикавӣю химиявӣю компонентҳо дар ҳар як мавриди мушаххас метавонад ба таври гуногун зоҳир гардида, ба хосиятҳои ниҳонии маводи дастрасшаванда таъсири амиқ расонад.

Мувофиқи диаграммаи ҳолат пешбинӣ кардан мумкин аст, ки ҳангоми таносуби $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ зиёда аз 3 : 2, ҳангоми то ҳарорати беш аз 1450°C гарм кардани шихтаҳо, ҳамчун пайвастагиҳои созанда бояд Al_2O_3 ва муллит дар намуди маҳлулҳои сахт то ҳарорати 1850°C баромад кунанд. Барои таркиби стехиометрии шихта: Al_2O_3 - 78% мас. ва SiO_2 - 22% мас. ва ҳангоми расидан ба ҳарорати гармидиҳии 1850°C пайдоиши гудозиши эвтектикӣ имконпазир аст.

Қобилияти кории маводи оташбардор бо миқдори баланди гилхок (глинозем - зиёда аз 75% мас.) дар шихта потенциалан бояд баланд бошад, зеро пайдоиши фазои моеъ то ҳарорати 1850°C дар ин система ҷой надорад (бо шартҳои истисно кардани мавҷудияти омехтаҳои зудгудоз). Олимон Х.С. Сафиев ва Б.С. Азизов қайд мекунанд: «Истифодаи оксиди алюминий дар композитҳо хосиятҳои физикавӣю химиявӣю маводро устувор мегардонад» [11, с. 228].

Барои амалӣ намудани ин принципҳо дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон, таркибҳои оптималии шихта дар асоси ашёи хоми маҳаллӣ ҳисоб карда шуданд. Таркибҳои оптималии ҳисобшудаи шихтаи маводҳои оташбардор дар ҷадвали 2 оварда шудаанд.

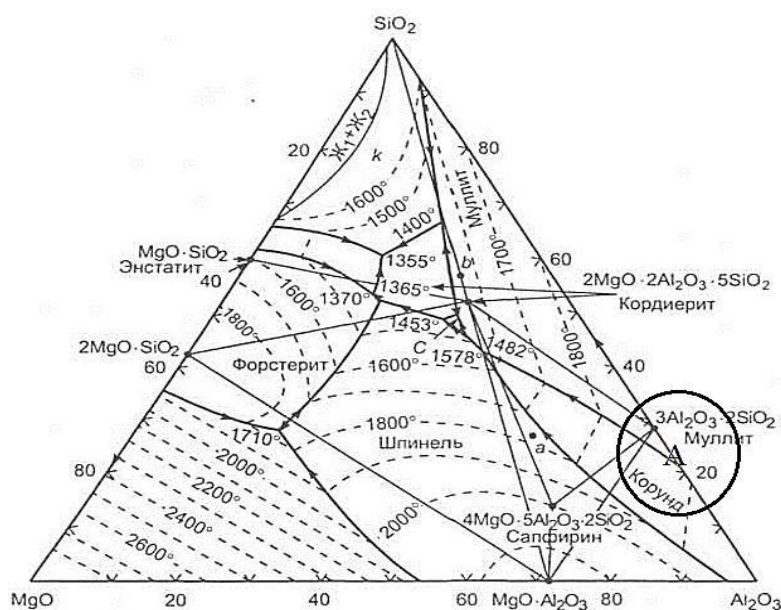
Ҷадвали 2.

*Таркибҳои оптималии шихтаи маводҳои оташбардор ва
манбаи ашёи хоми ватанӣ*

<i>Компонентҳои шихта</i>	<i>Таркиби корундӣ (% мас.)</i>	<i>Таркиби корундомуллитӣ (% мас.)</i>	<i>Манбаи ашёи хоми ватанӣ (Тоҷикистон)</i>
<i>Гилхок (Al_2O_3)</i>	<i>85 - 95</i>	<i>70 - 85</i>	<i>Оксиди алюминии КВД «ТАЛКО»</i>
<i>Кремензем (SiO_2)</i>	<i>3 - 12</i>	<i>15 - 30</i>	<i>Каолинҳои конҳои Шӯроб ва Зиддӣ</i>
<i>Иловаи модификаторӣ (MgO)</i>	<i>0,5 - 1,0</i>	<i>1,0 - 2,0</i>	<i>Оксиди магний (модификатор)</i>
<i>Ҳарорати максималии пухтан, °C</i>	<i>1700 - 1750</i>	<i>1650 - 1680</i>	<i>Кӯраҳои баландҳарорати саноатӣ</i>

Ҷадвали 2 нишон медиҳад, ки барои дастрас намудани таркиби оптималии корундомуллитӣ, миқдори гилхок (Al_2O_3) бояд дар ҳудуди 70-85% ва кремензем (SiO_2) 15-30% танзим карда шавад. Ҳамчун манбаи асосии ин оксидҳо ашёи хоми ватанӣ - оксиди алюминии КВД «ТАЛКО» ва каолинҳои конҳои Шӯробу Зиддӣ асоснок карда шуданд. Иловаи 1,0-2,0% оксиди магний (MgO) имкон медиҳад, ки ҳарорати пухтани таркиби корундомуллитӣ то 1650-1680 °C паст карда шавад, ки ин аз назари сарфаи энергия барои корхонаҳои Тоҷикистон хеле муҳим аст. Барои таркибҳои корундии сохторашон тоза, ҳарорати пухтан то 1750°C боло меравад, ки ин устувории баланди ҳароратии маводро таъмин менамояд.

Дар баробари риояи принсипи тарҳрезии таркиби шихтаи маводи оташбардор ва интиҳоби аз назари илмӣ асоснокшудаи маводҳои аввалия, принсипи сохтани сохтори додашудаи скелети мавод низ муҳим ба шумор меравад. Сохтори скелети чунин маводи оташбардор бояд аз каркаси кристаллии иборат аз донаҳои гудохташуда ё баландпухтаи корунд ё муллит вобаста ба таркиби тарҳрезшудаи шихтаи оташбардор иборат бошад (чунин донаҳо ба падидаҳои нишаст-коҳишбӣ дучор намешаванд), ки он бо пайвасти керамикии сементкунандаи аз рӯи табиат ба каркаси асосӣ наздик мустаҳкам карда шудааст.



Расми 3. Диаграммаи ҳолати системаи $MgO-Al_2O_3-SiO_2$
(соҳаи устувории корунд ва муллит).

Зарурати якҷоякунии корунд ва муллит дар сохтори маводи оташбардор ҳам бо наздикии химиявии ин пайвастагиҳо ва оташбардории баланди онҳо ($T_{\text{гуд.корунд}}=2050^\circ\text{C}$, ($T_{\text{гуд.муллит}}=1850^\circ\text{C}$) ва ҳам бо наздикии нишондиҳандаҳои тавсифоти физикавию механикии онҳо (КОГХ, модули чандирӣ, устуворӣ) асоснок карда мешавад. Ин омил аз пайдоиши фишорҳои механикӣ дар скелети мавод пешгирӣ менамояд. Ба ақидаи тадқиқотчиён: «Наздикии КОГХ-и корунд ва муллит фишорҳои механикиро дар скелети мавод ба ҳадди ақал мерасонад» [7, с. 114].

Дар шаклгирии скелети мавод, дастрас намудани сохтори намуди сегментарӣ бо миқдори додашудаи ковокиҳо (пораҳо) муҳим мебошад, зеро сохтори ковок метавонад микротарқишҳои бамиёнистидаро фуру нишонад ва паҳншавии онҳоро дар маҳсулот боздорад. Барои аксари маводҳои оташбардор ковокӣ аз 15 то 30%-ро ташкил медиҳад. Ҳангоми сохтори зичтар, паҳншавии микротарқишҳо меафзояд, аммо ковокии калон боиси паст шудани мустаҳкамии механикии маводи оташбардор ҳангоми хамкунӣ ва фишордиҳӣ мегардад. Чӣ тавре ки Г. Роучка ва Х. Вутнау изҳор доштаанд: «Ковокии аз 15 то 30% барои гаштани микротарқишҳо дар оташбардорҳо оптималӣ мебошад» [8, с. 150].

Синтези пайвастагиҳои муллитӣ дар скелети мавод метавонад ҳамзамон бо раванди пухтани маҳсулоти оташбардор, ки бо компонентҳои аввалия дар намуди каолин ва гилхок шихта карда шудаанд, амалӣ карда шавад. Ин имкон медиҳад, ки сохтори матритсавии мавод устуворию баланди термикиро дар шароити корӣ нигоҳ дорад.

Дар ин ҳолат, аз ҳисоби падидаҳои нишастии иловагӣ дар раванди фазаҳосилшавӣ, метавонад сохтори дорои микротаркишҳои скелети мавод шакл гирад, ки ин ба баланд шудани устувории маводи оташбардор нисбат ба бори термомеханикӣ мусоидат менамояд. Дар ин замина, омӯзиши хосиятҳои гармофизикии минералҳои оташбардор нишон медиҳад, ки коэффисиентҳои ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии онҳо вобастагии қавиро аз тағирёбии ҳарорат нишон медиҳанд, ки ин омили асосӣ дар ҳисобкунии речаҳои ҳароратӣ ба шумор меравад [4, с.5; 5, с.144].

Таҳлили вобастагии ҳароратии коэффисиенти ҳароратгузаронии минералҳои оташбардор собит месозад, ки дар диапозони ҳароратҳои баланд нишондиҳандаи паҳншавии мавҷҳои гармидиҳӣ дар скелети корундӣ ва муллитӣ табдилёбии қонуниятҳои сохториро нишон медиҳад. Ин падида имкон медиҳад, ки суръати паҳншавии гармӣ дар дохили каркаси матритсавӣ пешгӯӣ ва танзим карда шуда, аз пайдоиши градиентҳои шадиди ҳароратӣ дар сатҳи тамоси мавод бо маҳсулоти пухташаванда пешгирӣ карда шавад [4, с.7].

Тадқиқоти вобастагии ҳароратии гармигузаронии ин намуди масолеҳ нишон медиҳад, ки бо боло рафтани ҳарорат, селҳои гармидиҳӣ дар сохтори сегментарии ковок (15-30%) бо монеаҳои сохторӣ дучор мешаванд, ки ин боиси суст шудани паҳншавии гармии хаттӣ мегардад. Сохтори ковок паҳншавии микротаркишҳои термикӣ тавассути парокандакунии энергияи интиқоли гармӣ бозмедорад [5, с.145].

Ҳамчун омили калидии энергетикӣ раванд, гармиғунҷоиши хоси масолеҳи оташбардор қобилияти маводро барои фурӯ бурдани энергияи гармӣ ва нигоҳ доштани мувозинати термодинамикӣ дар ҳароратҳои зиёда аз 1650°C муайян мекунад. Муайян кардани қонуниятҳои тағирёбии гармиғунҷоиши хос вобаста ба ҳарорат ва фишори оптималии қолабрезӣ нишон медиҳад, ки устувории фазавии каркаси сементкунандаи муллитокорундӣ ба иқтидори гармигирии панҷараи кристаллӣ алоқамандии зич дорад. Танзими мақсадноки ин хосияти гармофизикӣ дар марҳилаи тарҳрезии шихта имкон медиҳад, ки таҷҳизоти оташбардор бе деформатсия ва вайроншавии механикӣ зиёда аз 50 давраи гармиивазкунии шадидро ба таври устувор тоб оварад [6, с.257].

Ба омилҳои муҳими технологӣ, ки ба шаклгирии сохтори лозимии маводи оташбардор таъсир мерасонанд, инчунин бояд миқдори омехтаҳо дар ашёи хомро нисбат дод. Мавҷудияти омехтаҳо - имкони пайдоиши фазаи моеъро дар скелети мавод ҳангоми истифодабарии маводи оташбардор муайян менамояд, ки ин метавонад боиси падидаҳои

деформатсионӣ дар он гардад. Ҳамин тариқ, барои истеҳсоли маҳсулоти оташбардори босифат ва рақобатпазир дар бозорҳои дохилии Тоҷикистон ва ҷаҳонӣ, истифодаи принципҳои физикавӣю химиявӣ зерин зарур аст:

Каркаси кристаллӣ ва тозагии мавод: Ҳамчун матритсаи сохторсози маводи оташбардор бояд корунди электрогудохташуда ё муллити дорои таркиби фраксионии донагии ба таври қатъӣ танзимшуда, бо миқдори ниҳонии ками омехтаҳои оксидҳои оҳан, унсурҳои ишқорӣ ва бо истисноии пурраи дохилаҳои металлӣ истифода бурда шавад.

Таркиби фазавӣ пайвастагӣ: Пайвастагии керамикӣ, ки скелети матритсаи кристаллиро мустақкам мекунад, бояд аз рӯи таркиби фазавӣ худ аз муллит ё омехтаи муллиту корунд бо бартариҳои ин ё он асоси минералогӣ (бо назардошти намуди матритса) иборат бошад.

Адаптатсия ба ашёи хоми ватанӣ: Ҳамчун компонентҳои аввалия барои дастрас намудани пайвастагии керамикӣ маводҳои оташбардор бояд намунаҳои дохилии гилхок (масалан, оксиди алюминии истеҳсоли КВД «ТАЛКО» пас аз коркарди лозимӣ) ва навъҳои баландсифати каолинҳои бойгардонидашудаи маҳаллӣ истифода шаванд.

Хулоса. Тадқиқоти мазкур заминаҳои муҳимми илмӣ ва амалии тарҳрезии маводҳои оташбардори баландсифатро дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷамъбаस्त менамояд. Дар асоси омӯзиши амиқи қонуниятҳои физикавӣю химиявӣ равандҳои фазавӣ ҳангоми синтеризатсия, асосҳои назариявӣю технологияи дастрас намудани маводҳои оташбардор дар асоси системаҳои бисёркомпонентии оксидҳо ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ва $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) асоснок карда шуданд:

Муайян карда шуд, ки ҳангоми таносуби $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:SiO}_2$ зиёда аз 3:2 дар шихта, соҳаи маҳлулҳои саҳти муллит ва $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ устувории баланди ҳароратиро то 1850°C таъмин мекунад. Бо сабаби дар ҳарорати 1850°C ба амал омадани гудозиши эвтектикии фазаи моеъ, қобилияти кори маводҳо дар шароити шадид собит шуд.

Нишон дода шуд, ки ворид намудани оксиди магний (MgO) ба миқдори 1,0...2,0% мас. раванди синтеризатсияи самарабахшро фаъол мегардонад. Дар ҳудуди оксидҳои асосӣ ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}70\ldots85\%$ мас.; $\text{SiO}_2\text{-}15\ldots30\%$ мас.) пайдоиши гудозиш то ҳарорати 1800°C истисно карда мешавад, ки ин деформатсияро пешгирӣ мекунад.

Собит карда шуд, ки устувории ҳароратии баланд (на камтар аз 50 давраи гармивазкунӣ дар речаи то $1600\text{-}1700^\circ\text{C}$) тавассути сохтани сохтори сегментарии ковок (бо нигоҳдории ковокӣ дар ҳудуди 15 то 30%) барои фуру нишондани микротарқишҳо ба даст меояд.

Мақолаи илмӣ мазкур дар озмоишгоҳи «Физикаи гармо ва муҳитҳои конденсӣ»-и назди кафедраи физикаи эксперименталии факултети физикаи Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни дар доираи корҳои илмӣ-тадқиқотии кафедра дар мавзӯи «Омӯзиши хосиятҳои гармофизикии моддаҳо вобаста ба таркиб, ҳарорат ва фишор» барои солҳои 2021-2025 иҷро шудааст.

Адабиёт

1. *Инамура, Я.* Огнеупоры и их применение / Я. Инамура; пер. с яп. А.А. Тихонова. - М.: Металлургия, 1984. - 448 с.
2. *Исмоилова, М.К.* Асосҳои назариявӣ ва технологияи коркарди гилҳои оташбардор ва каолинҳои Тоҷикистон / М.К. Исмоилова // Паёми ДДОТ ба номи Садриддин Айни. - 2023. - №4. - С. 95-101.
3. *Кащеев, И.Д.* Свойства и применение огнеупоров / И.Д. Кащеев. - М.: Теплотехник, 2004. - 352 с.
4. *Маджидов, Х.* Температуропроводность жаропрочных минералов в зависимости от температуры / Х. Маджидов, Х.К. Мухаббатов // Вестник Педуниверситета. Душанбе, 2005. - № 4. - С. 3-10.
5. *Маджидов, Х.* Теплопроводность жаропрочных минералов в зависимости от температуры / Х. Маджидов, Х.К. Мухаббатов // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2006. - №2, том 49. - С. 143-147.
6. *Маджидов, Х.* Удельная теплоемкость жаропрочных материалов / Х. Маджидов, Х.К. Мухаббатов, С.М. Сияхаков // Доклады АН Республики Таджикистан. - 2006. - №3. - С. 254-260.
7. *Мирзоев, Б.С.* Моделирование процессов спекания и фазообразования алюмосиликатной керамики / Б.С. Мирзоев, К.Х. Бобоев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2021. - № 2. - С. 112-118.
8. *Роучка, Г.* Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания / Г. Роучка, Х. Вутнау. - М.: Интермет. Инжиниринг, 2010. - 392 с.
9. *Стрелов, К.К.* Технология огнеупоров / К.К. Стрелов, П.С. Мамыкин. - М.: Металлургия, 1978. - 376 с.
10. *Стрелов, К.К.* Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К.К. Стрелов, И.Д. Кащеев. - М.: Металлургия, 1996. - 608 с.

11. Сафиев, Х.С. Физико-химические аспекты использования оксида алюминия и силикатных шламов в композиционных материалах / Х.С. Сафиев, Б.С. Азизов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. - 2023. - № 3. - С. 226-234.

АСОСҲОИ ФИЗИКАВИЮ ХИМИЯВИИ ТЕХНОЛОГИЯИ МАВОДҲОИ ОТАШБАРДОР

Фишурда. Дар мақола асосҳои физикавию химиявии технологияи дастрас намудани маводҳои оташбардор баррасӣ шудаанд. Таҳлили диаграммаҳои ҳолат дар системаи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ имкон медиҳад, ки соҳаҳои таркиб бо ҳарорати пайдоиши гудозиши эвтектикии зиёда аз 1750°C муайян карда шаванд. Талаботи махсус ба маводи оташбардор, аз ҷумла устувории баланди ҳароратӣ (на камтар аз 1650°C), миқдори ниҳии давраҳои гармиивазкунӣ зарурати истифодаи таркибҳои корундӣ ва муллитиро асоснок менамоянд. Муқовимати баланди таҷҳизоти оташбардор ба давраҳои гармидиҳии даврӣ метавонад тавассути сохтани сохтори муайяни скелети мавод таъмин карда шавад. Скелети маводи оташбардор бояд аз каркаси кристаллии иборат аз донаҳои гудохташуда ё баландпухтаи корунд ё муллит иборат бошад, ки бо пайванди керамикии сементкунанда мустақам гардидааст. Ҳангоми истифода, каркаси кристаллӣ нақши пуркунандаи инертиро мебозад, дар ҳоле ки пайванди керамикӣ мустақамӣ ва ковокии лозимии маҳсулотро ҳангоми синтеризатсия муайян намуда, тавсифоти истифодабарии маҳсулотро муқаррар менамояд. Сохтори маводи оташбардор бояд дорои ковокии муайян бо нигоҳдории тавсифоти мустақамӣ бошад.

Калидвожаҳо: маводи оташбардор, корунд, муллит, пуркунанда, пайванди керамикӣ, диаграммаи ҳолат, каркаси кристаллӣ, устувории ҳароратӣ, ковокии мавод.

ОСНОВЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В статье рассмотрены физико-химические основы технологии получения огнеупорных материалов. Анализ диаграмм состояния в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ позволяет определить области составов с температурой образования эвтектического расплава выше 1750°C . Специальные требования к огнеупорным материалам, включая высокую термическую стойкость (не менее 1650°C) и предельное количество циклов теплосмен, обосновывают необходимость использования корундовых и муллитовых составов. Высокая устойчивость огнеупорного оборудования

к циклическим теплосменам может быть обеспечена путем создания определенной скелетной структуры материала. Скелет огнеупорного материала должен состоять из кристаллического каркаса, включающего плавленные или высокосожженные зерна корунда или муллита, скрепленные цементирующей керамической связкой. При эксплуатации кристаллический каркас играет роль инертного наполнителя, в то время как керамическая связка определяет необходимую прочность и пористость изделий при синтеризации, в максимальной степени устанавливая эксплуатационные характеристики продукции. Структура огнеупорного материала должна обладать определенной пористостью при сохранении прочностных характеристик.

Ключевые слова: огнеупорные материалы, корунд, муллит, наполнитель, керамическая связка, диаграмма состояния, кристаллический каркас, термостойкость, термическая стабильность, пористость материала.

PHYSICOCHEMICAL FOUNDATIONS OF REFRACTORY MATERIALS TECHNOLOGY

Annotation. The article discusses the physicochemical foundations of refractory materials production technology. Analysis of the phase diagrams in the $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ system allows for the determination of composition regions with an eutectic melt formation temperature exceeding 1750°C . Special requirements for refractory materials, including high thermal stability (not less than 1650°C) and the maximum number of thermal shock cycles (thermal shock resistance), substantiate the necessity of using corundum and mullite compositions. High resistance of refractory equipment to cyclic thermal fluctuations can be achieved by creating a specific skeletal structure of the material. The skeleton of the refractory material should consist of a crystalline framework composed of fused or dead-burned corundum or mullite grains, reinforced with a cementing ceramic bond. During operation, the crystalline framework acts as an inert filler, while the ceramic bond determines the required strength and porosity of the products during sintering, largely establishing the performance characteristics of the product. The structure of the refractory material must possess a specific porosity while maintaining its strength characteristics.

Keywords: refractory materials, corundum, mullite, filler, ceramic bond, phase diagram, crystalline framework, thermal shock resistance, thermal stability, material porosity.

Маълумот дар бораи муаллиф: Муҳаббатова Хушнуд Қурбонович – н.и.т., дотсенти кафедраи физикаи эксперименталии Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣи Тоҷикистон ба номи С. Айни.узви вобастаи Академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон. Суроға: 734003, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, х. Рӯдакӣ, 121 E-mail: mhq71@mail.ru

Алишери Зукуръё - муаллими калони кафедраи физикаи эксперименталии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни. Суроға: 734003, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, х. Рӯдакӣ, 121, **тел:** 992 987 62 62 41.

Информация об авторах: Мухаббатов Хушнуд Курбонович – к.т.н., доцент кафедры экспериментальной физики Таджикского государственного педагогического университета имени С. Айни, член-корреспондент Инженерной академии Республики Таджикистан. Адрес: 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 121. E-mail: mhq71@mail.ru

Алишери Зукуръё - старший преподаватель кафедры экспериментальной физики Таджикского государственного педагогического университета имени Садриддина Айни. Адрес: 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 121, **тел:** 992 987 62 62 41.

Information about the authors: Muhabbatov Khushnud Kurbonovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Experimental Physics of the Tajik State Pedagogical University named after S. Aini, corresponding Member of the Engineering Academy of the Republic of Tajikistan. Address: 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Ave., 121. E-mail: mhq71@mail.ru

Alisheri Zukuriyo - Senior Lecturer at the Department of Experimental Physics, Tajik State Pedagogical University named after Sadriddin Ayni. Address: 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Ave., 121, tel: 992 987 62 62 41.

Муқарриз: Баротов Н.И., – н.и.х., (02.00.04 – химияи физикӣ)-и кафедраи физика ва географияи Донишгоҳи давлатии Данғара

Мақола ба редакция ворид шуд: 08.06.2026

Аз тақриз баргашт: 29.06.2026

Ба чоп таъсия шуд: 29.08.2026

ТАҲҚИҚИ СПЕКТРҲОИ ФУРҶАРИИ ИНФРАСУРҲИ
ПАЙВАСТАҲОИ КООРДИНАТСИОНИИ 1,2,4-ТРИАЗОЛТИОЛИИ
МОЛИБДЕН(V)

журабеков У.М., Азизкулова О.А., Ҳамидова Ф.Р., АбдулҲаева М.И.
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Молибден метали биофаол буда, дар қишри Замин ба элементҳои кампаҳншуда шомил мебошад. Новобаста ба ин, дар организми зинда ин элемент вазифаи муҳимро иҷро менамояд. Баъзе пайвастаҳои молибден аз ҷумла, пайвастаҳои координатсионии он бо лигандҳои органикӣ барои истеҳсоли моддаҳои биофаол, рангу бор ва дорувориҳо истифода мешаванд.

Молибден дар бисёр бофтаҳои зинда, хусусан мубодилаи аминокислотаҳо ва кислотаҳои нуклеинӣ таъсир мерасонад ва ба кори антиоксидантҳо, аз ҷумла витамини С, ки ҷузъи муҳими системаи нафаскашии бофта аст, ёрӣ мерасонад. Молибден ба раванди тақсимшавии сафедаҳо ба аминокислотаҳо иштирок мекунад. Шакли фаъоли биологӣ ин элемент кофактори молибден (molybdenum cofactor) - комплекси хурдмолекулае аст, ки ҳосияти ғайрисафедавӣ дошта, дар таркиби ферментҳо барои мубодилаҳои ҳоси каталитикӣ зарур мебошад. Кофактори молибден дар фаъолияти ферментҳои муҳими ксантиноксидаза, сулфитоксидаза ва алдегидоксидаза бевосита иштирок менамояд. Ксантиноксидаза ҳамчун катализатор барои табдили гипоксантин ба ксантин ва сипас ба кислотаи пешоб мусоидат мекунад. Алдегидоксидаза бошад, пиримидинҳо, пуринҳо ва птеридинҳои гуногунро оксид ва безарар мегардонад. Сулфитоксидаза соддатарин ферменти дорои молибден аст, ки дар метаболизми аминокислотаҳои сулфурдор ба монанди систеин ва метионин иштирок мекунад ва сулфитҳоро ба сулфатҳо табдил медиҳад [1, с.83].

Пайвастаи координатсионии молибден $\text{MoO}_2(\text{C}_9\text{H}_{10}\text{NO}_2)_2\text{H}_2\text{O}$ (диоксо-бис-Д-Л-бета-фенил-алфа-аланинати молибден) ба сифати доруворӣ барои муолиҷаи бемориҳои ҷигар истифода мешаванд [3].

Синфи пайвастаҳои триазол дар байни лигандҳои органикӣ ҷои махсусро ишғол мекунад, зеро онҳо дорои фаъолияти баланди биологӣ мебошанд. Триазол ва ҳосилаҳои он дар соҳаи фармасевтӣ, биотехнологӣ ва кишоварзӣ васеъ истифода мешаванд. Дар тибби муосир онҳо ҳамчун маводи доруворӣ бар зидди бемориҳои занбуруғӣ, бактериявӣ, вирусӣ ва

саратонӣ мавриди истифода қарор доранд, инчунин дар соҳаи кишоварзӣ барои ҳимояи зироатҳои полезӣ нақши муҳим мебозанд. Ҳосилаҳои триазол ҳамчун маҳсулоти мобайнӣ барои истеҳсоли катализаторҳои самаранок дар саноати химия, равшанкунандаи оптикӣ, пластификаторҳо, ингибиторҳо ва гербитсидҳо истифода мешаванд [4, с.66].

Триазол, ки дорои чор атоми донорӣ мебошад, метавонад бо d-металлҳои интиқолӣ пайвастаҳои координатсионии гуногун ҳосил кунад. Таваҷҷӯҳ ба лигандҳои ҳосилаҳои 1,2,4-триазол - ин аз як тараф фаъолияти баланди биологӣ, аз тарафи дигар қобилияти баланди донорӣ доштани онҳо мебошад.

Дар адабиёт оид ба пайвастаҳои координатсионии молибден (V) бо як қатор лигандҳои органикии нитроген ва сулфурдор, ба монанди 1-метил-2-меркаптоимидазол, 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тион ва 8-оксихинолин маълумот оварда шудааст [5, с.176; 6, с.148].

Дар корҳои [7, с.184; 8, с.109; 9, с.38] оид ба таҳлили спектрҳои инфрасурхи як қатор пайвастаҳои координатсионии рений, мис ва руҳ бо ҳосилаҳои 1,2,4-триазолтиол омӯхта шудааст. Муайян карда шудааст, ки 1,2,4-триазолтиол бо металлҳои номбурда тавассути атомҳои донории сулфури гурӯҳи тиолӣ бо тариқи монодентатӣ ва бидентатӣ аз ҳисоби сулфуру нитрогени ҳалқаи азолӣ координатсия шудааст.

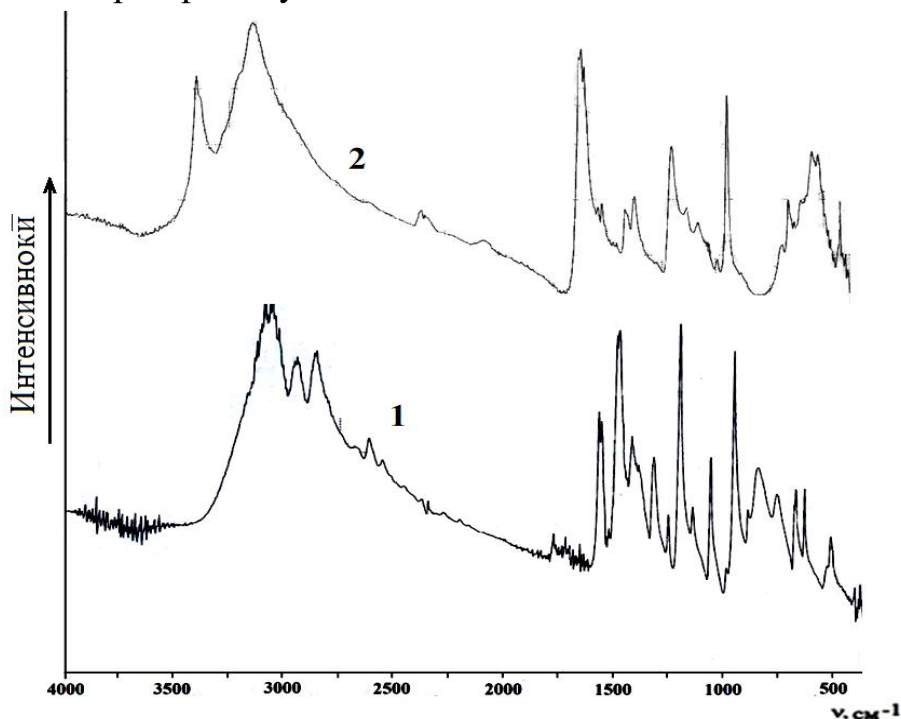
Таҳлили систематикӣ адабиёти илмӣ нишон медиҳад, ки оид ба синтез ва таҳқиқи хосиятҳои физикӣ-химиявӣ ва биологӣ пайвастаҳои координатсионии d-металлҳои интиқолӣ, бо лигандҳои органикии нитроген- ва сулфурдори қатори алифатӣ ва гетеросиклӣ маълумот нисбатан кам аст.

Мақолаи мазкур идомаи корҳои илмӣ-таҳқиқотӣ [10, с.46; 11, с.55] буда, ба омӯзиши фурубарии спектрҳои инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии синтезкардашудаи молибден (V) бо 1,2,4-триазолтиол (L) бахшида шудааст.

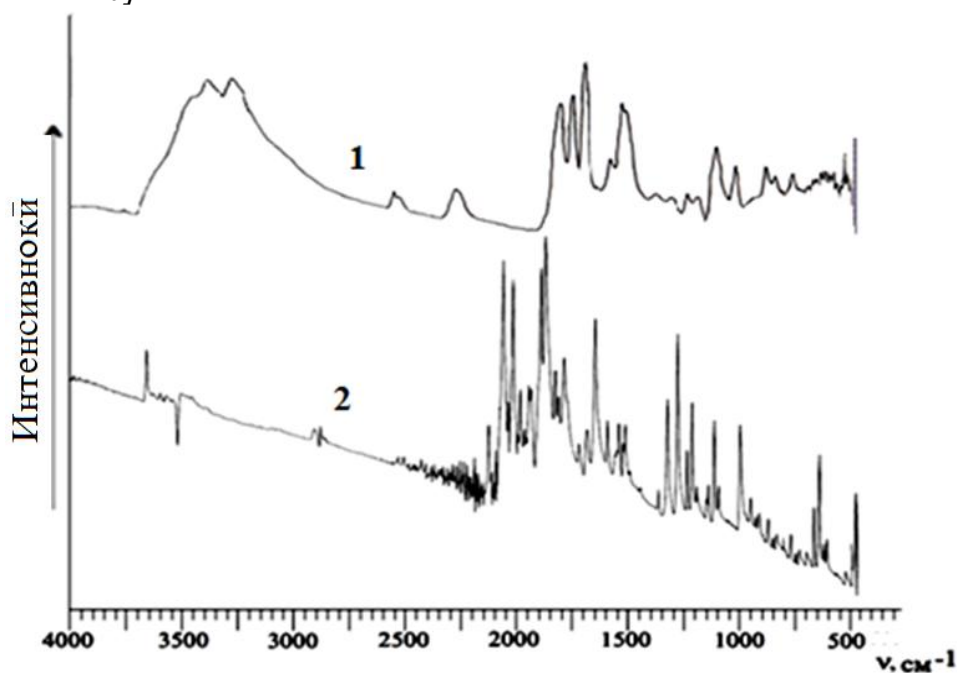
Қисми таҷрибавӣ

Барои муайян кардани характери координатсияи 1,2,4-триазолтиол бо ионҳои молибден (V), спектрҳои ИС-и 1,2,4-триазолтиоли озод, тиосианати аммонӣ ва як қатор пайвастаҳои координатсионии синтезкардашудаи омӯхта шудаанд. Спектрҳои инфрасурх бо истифодаи асбоби “SHIMADZU” дар ҳудуди 400-4000 см⁻¹ гирифта шуд. Ин имконият дод, ки тарзи бо иони комплексҳосилкунанда - молибден(V) координатсияшавии молекулаи 1,2,4-триазолтиол, ионҳои тиосианат ва атсидолигандҳо муқаррар карда шавад. Суспензияи маводи таҳқиқшавандаро дар намуди ҳаб (таблетка) бо вазелин ва KBr тайёр намуда, спектри ИС онҳо сабт карда шуд.

Интерпретация спектров ИС мувофиқи маълумоти адабиёти [10, с.45; 12, с.28] гузаронида шуд. Дар расмҳои 1-3 спектрои фурӯбарии инфрасурхи 1,2,4-триазолтиол, моддаи аввала пентахлорооксомолибдати аммоний - $(\text{NH}_4)_2[\text{MoOCl}_5]$ ва баъзе пайвастаҳои координатсионии синтезшуда тасвир карда шудааст.



Расми 1. Спектри фурӯбарии инфрасурхи 1. 1,2,4-триазолтиол, 2. $(\text{NH}_4)_2[\text{MoOCl}_5]$



Расми 2. Спектри фурӯбарии ИС пайвастаҳои координатсионӣ: 1. $[\text{MoOL}_2(\text{HCOO})\text{Cl}_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 2. $[\text{MoOL}_2(\text{HCOO})(\text{SCN})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Таҳлили спектрҳои инфрасурхи 1,2,4-триазолтиол ва пайвастаҳои координатсионии синтезкардашуда нишон медиҳад, ки дар спектри фурӯбарии 1,2,4-триазолтиол хатҳои интенсивӣ ва миёна дар ҳудудҳои 754 см⁻¹, 798 см⁻¹, 953 см⁻¹, 1074 см⁻¹, 1159 см⁻¹, 1211 см⁻¹, 1298 см⁻¹, 2040 см⁻¹, 2279 см⁻¹, 2432 см⁻¹, 2667 см⁻¹, 2854 см⁻¹, 2928 см⁻¹, 3026 см⁻¹, 3134 см⁻¹ пайдо мешаванд. Маълум аст, ки чунин лигандҳои тиоамидӣ, ба монанди 1,2,4-триазолтиол ва ҳосилаҳои дигари онҳо асосҳои заиф мебошанд. Вобаста аз табиати муҳит ин пайвастаҳо дар ду шакли таутомерии тиолӣ ё тионӣ мавҷуд буда метавонанд.

Азбаски синтези пайвастаҳои координатсионии молибден (V) дар муҳити кислотагӣ гузаронида шудаанд, тахмин кардан мумкин аст, ки мавҷудияти ин ё он шакли молекулаҳои координатсияшудаи 1,2,4-триазолтиоли дар таркиби пайвастаҳои координатсионӣ буда аз табиати ионии муҳит вобаста мебошад. Аз ин рӯ, таҳлили пайдошавии хатҳои фурӯбарӣ дар ҳудудҳои 675 см⁻¹ ва 820 см⁻¹ дар спектри 1,2,4-триазолтиоли озод ва хати дуплетии интенсивнокиаш миёна дар ҳудудҳои 746 см⁻¹ ба мо имкон медиҳад, ки эҳтимолияти дар ду шакли таутомерӣ - тионӣ ва сулфгидрилӣ қарор доштани онро тасвир намоем, чунки ин ҳолат бо маълумоти дар адабиёти [13, с.3165] овардашуда мувофиқ аст. Вале тахмин кардан мумкин аст, ки хатҳои спектрии дар ҳудудҳои 785-825 см⁻¹ пайдошуда эҳтимолан ба лаппишҳои валентии гурӯҳи тионии молекулаи 1,2,4-триазолтиол мансуб бошанд.

Н а т и ч а ҳ о в а м у ҳ о к и м а и о н

Муқоисаи фурӯбарии спектри инфрасурхи (ИС) 1,2,4-триазолтиол бо спектрҳои ИС-и пайвастаҳои координатсионии дар кори [14, с.93] синтезшуда нишон медиҳад, ки хатҳои нурфурӯбарӣ дар ҳудудҳои 746-754 см⁻¹, 624-630, 754 см⁻¹ ва 2555-2617 см⁻¹ ба лаппишҳои валентӣ-деформатсионии бандҳои $\gamma(\text{C-H})$ ва $\gamma(\text{NN})$ ва $\nu(\text{NH})$ -и ҳалқаи азолӣ тааллуқдоранд. Ин хатҳои фурӯбарӣ дар спектрҳои ИС пайвастаҳои омӯхташуда бетағйир боқӣ мемонанд. Пастшавии интенсивнокии спектрҳои фурӯбарӣ дар ҳудудҳои 825 см⁻¹, 1010 см⁻¹ ва 1025 см⁻¹ мушоҳида мешавад, ки ба лаппишҳои гурӯҳи (C=S)-и ба иони молибден (V) координатсияшудаи молекулаи 1,2,4-триазолтиол мансуб ҳисобидан мумкин аст.

Спектрҳои фурӯбарӣ дар ҳудуди 1560, 2098 см⁻¹ дар спектрҳои инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии 1,2,4-триазолтиоли молибден (V), ки ба лаппишҳои банди (C=N) - и гетеросикл шомиланд, дар спектри фурӯбарии ИС-и пайвастаҳои $[\text{MoOL}_2(\text{HCOO})\text{Cl}_2]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_3(\text{HCOO})\text{Cl}]\text{Cl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_2(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl}_2]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2(\text{CH}_3\text{COO})]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ амалан бетағйир мемонанд. Ин далели

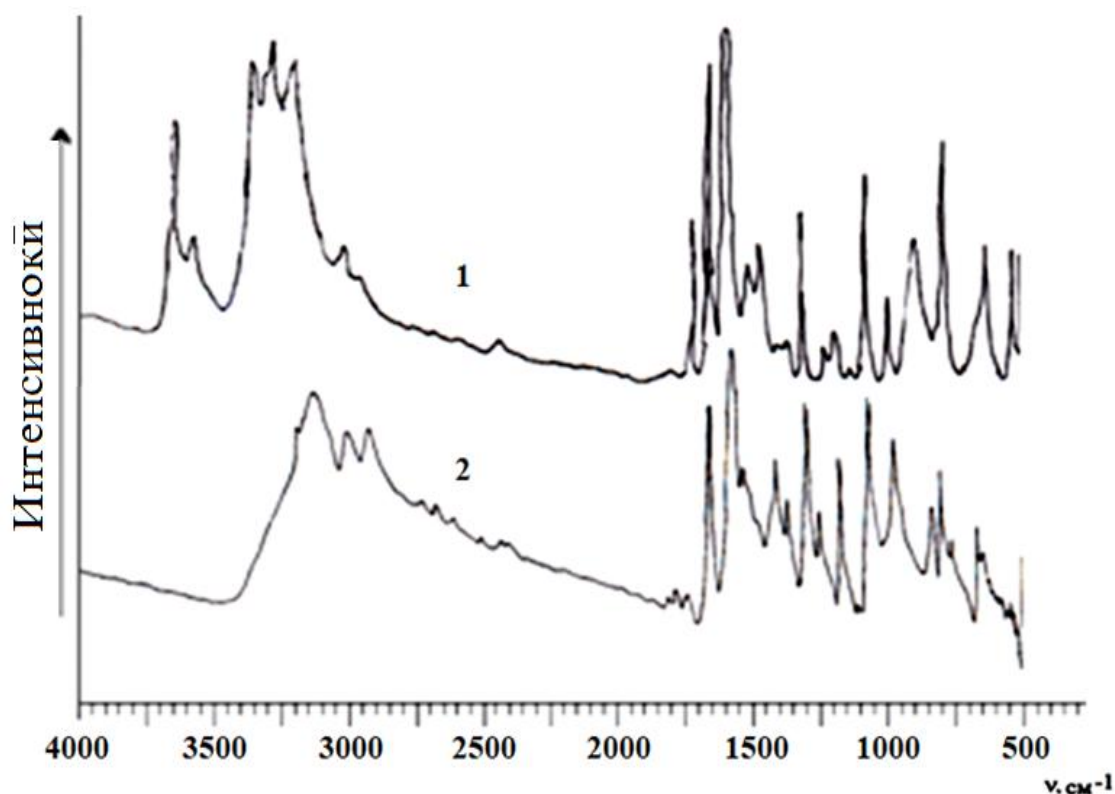
таҷрибавӣ нишон медиҳад, ки атомҳои нитрогени ҳалқаи азолӣ дар координатсияи иони комплексҳосилкунанда иштирок намеkunанд.

Дар спектрҳои фурӯбарии инфрасурхи ҳамаи пайвастаҳои координатсионӣ, ки бо таносуби молии Mo:L аз 1:2 то $\text{Mo:L} = 1:4$ ҳосил карда шудаанд, хатҳои интенсивӣ дар соҳаҳои $948\text{-}974\text{ см}^{-1}$ пайдо мешаванд. Мувофиқи маълумоти адабиёти [15, 74] эҳтимол онҳо ба лаппишҳои валентии гурӯҳи молибденил $\gamma(\text{Mo=O})$ мансуб бошанд.

Дар спектри фурӯбарии инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии молибден(V) бо 1,2,4-триазолтиол, ки дар таркибашон иони координатсияшудаи тиосианат доранд, спектрҳои фурӯбарии басомади $740\text{-}815\text{ см}^{-1}$ ва $775\text{-}1005\text{ см}^{-1}$ аён шуда, мувофиқан ба лаппишҳои валентӣ (γ_s) ва деформатсионии (γ_8) бандҳои Mo=O ва Mo=S хос мебошанд. Ғайр аз ин дар спектрҳои фурӯбарии пайвастаҳои омӯхташуда боз дар соҳаҳои $785\text{-}825\text{ см}^{-1}$ хатҳои нурфурӯбарии интенсивнокиашон паст мушоҳида карда шуданд, ки эҳтимол ин хатҳо ба лаппиши деформатсионии банди $\gamma(\text{C=S})$ мансуб бошанд.

Тағйиротҳои мушоҳидакардашуда дар спектрҳои нурфурӯбарии пайвастаҳои координатсионӣ тавассути атомҳои сулфур ба таври монокентатӣ бо иони молибденил (MoO^{3+}) координатсия шудани молекулаи 1,2,4-триазолтиолро нишон медиҳанд.

Бояд қайд кард, ки ҳангоми таҳлили спектрҳои фурӯбарии инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2\text{Cl}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_3]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2(\text{HCOO})]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2(\text{CH}_3\text{COO})]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мавҷудияти хатҳои хоси фурӯбарии як қатор гурӯҳҳои функционалӣ, аз ҷумла $\gamma(\text{OH}^-)$ $3350\text{-}3380\text{ см}^{-1}$, $\gamma(\text{SCN}^-)$ $2040\text{-}2056\text{ см}^{-1}$, $\gamma(\text{C-N})$ $1560\text{-}2098\text{ см}^{-1}$, $\gamma_{\text{as}}(\text{C-H})$ $1298\text{-}1305\text{ см}^{-1}$, $\gamma(\text{COO}^-)$ $1364\text{-}1354\text{ см}^{-1}$ мушоҳида карда шуд. Дар расми 3 спектрҳои фурӯбарии инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2\text{Cl}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_2(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl}_2]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ дар қори [10, 47] синтез ва таҳқиқкардашуда нишон дода шудааст.



Расми 3. Спектрҳои фурӯбарии инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии 1. $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2\text{Cl}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 2. $[\text{MoOL}_2(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl}_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Дар ҳудуди $2040\text{--}2056\text{ см}^{-1}$ пайдо шудани хатҳои фурӯбарии интенсивии гурӯҳи $\nu(\text{C}=\text{N})$ дар спектри пайвастаҳои координатсионии тиосианати таркиби; $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2\text{Cl}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2\text{Br}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_3] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ва $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2(\text{CH}_3\text{COO})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ нишон медиҳад, ки ионҳои тиосианат ба иони Mo(V) тавассути атоми нитроген ба тариқи монодентатӣ координатсия мешаванд [10, 45].

Ҳангоми муқоисаи спектрҳои фурӯбарии инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии формиатӣ ва атсетатии таркибҳои: $[\text{MoOL}_2(\text{HCOO})\text{Cl}_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $[\text{MoOL}_2(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl}_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ бо спектрҳои фурӯбарии инфрасурхи $[\text{MoOL}_2\text{Cl}_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$ ва $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_3] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ муайян карда шуд, ки ионҳои гурӯҳи карбоксилӣ (COO^-) дар иштироки молекулаҳои координатсияшудаи 1,2,4-триазолтиол, бо иони молибденилӣ (MoO^{3+}) танҳо ба таври монодентатӣ координатсия шудаанд.

Таҳлили спектрҳои фурӯбарии инфрасурхи пайвастаҳои атсетат ва формиатии молибден (V) нишон медиҳад, ки интенсивнокии хатҳои фурӯбарии гурӯҳи $\gamma(\text{C}=\text{O})$ -и ионҳои карбоксилӣ дар спектрҳои пайвастаҳои координатсионии омӯхташуда аввал паст шуда, баъдан ба самти фурӯбарии интенсивнокии баланд майл мекунанд ва дар соҳаҳои $1064\text{--}1080\text{ см}^{-1}$ пайдо мешаванд. Тахмин кардан мумкин аст, ки гурӯҳи функционалии карбоксилӣ (COO^-) ба тариқи бидентатӣ координатсия шудааст, вале бо

сабаби аёншавии пасти хатҳои фурӯбарӣ ҳулоса бароварда шуд, ки дар ин пайвастаҳо гурӯҳи карбоксилӣ (COO^-) ба тариқи монокентатӣ координатсия мешаванд.

Дар спектри фурӯбарии инфрасурхи ин пайвастаҳо тағйирёбии хурди ($20\text{-}25\text{ см}^{-1}$) хатҳои спектри гурӯҳи карбоксилии ионҳои формиат ва атсетат $\gamma(\text{C}=\text{O})$ нисбат ба спектри моддаи аввала $(\text{NH}_4)_2[\text{MoOCl}_5]$ координатсиянашуда ба назар мерасад. Чунин тағйирёбии ками хатҳои фурӯбарии банди ($\text{C}=\text{O}$) аз эҳтимолияти ба иони молибденил (MoO^{3+}) координатсия шудани ионҳои формиат ва атсетатро тавассути атомҳои оксигени гурӯҳи карбоксилӣ шаҳодат медиҳад.

Таҳлили спектрҳои инфрасурх нишон медиҳад, ки пайвастаҳои координатсионии синтезкардашуда дар таркибашон молекулаҳои оби кристаллизатсионӣ доранд, ки мавҷудияти онҳо бо пайдоиши бандҳои лапиши валентӣ дар ҳудудҳои $\gamma(\text{OH}^-)$ $3350\text{-}3380\text{ см}^{-1}$ тасдиқ карда шудааст.

Дар ҷадвал тавсифи хатҳои нурфурӯбарии гурӯҳҳои функционалии хос дар спектрҳои инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии молибден (V) бо 1,2,4-триазолтиол бо ишораи рақамҳои римӣ формулаи химиявии пайвастаҳои координатсионии таҳқиқшуда оварда шудаанд: I. $(\text{NH}_4)_2[\text{MoOCl}_5]$, II. (L-1,2,4-триазолтиол) $\text{N}_3\text{H}_3\text{C}_2\text{S}$, III. $[\text{MoOL}_2\text{Cl}_3]\cdot\text{H}_2\text{O}$, IV. $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_2\text{Cl}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, V. $[\text{MoOL}_2(\text{SCN})_3]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, VI. $[\text{MoOL}_2(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl}_2]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Ҳамин тавр, дар асоси таҳқиқоти спектрҳои ИС атомҳои донорӣ дар таркиби лиганди органикӣ ва атсидолигандҳо инчунин характери координатсияи онҳо ба молибден (V) муайян карда шуд. Таҳлили умумии маълумотҳое, ки дар натиҷаи таҳқиқоти элементӣ ва дигар усулҳои физикӣ-химиявии иҷрокардашуда доир ба пайвастаҳои координатсионии молибден (V) бо 1,2,4-триазолтиол нишон доданд, ки таркиби химиявии онҳо ба формулаҳои пешниҳодшуда комилан мувофиқ мебошанд.

Ҷадвали 1.

Тавсифи тағйирёбии максималии хатҳои фурӯбарии спектри инфрасурхи гурӯҳҳои функционалии хоси 1,2,4-триазолтиол дар спектрҳои пайвастаҳои координатсионии синтезкардашудаи молибден (V)

Ҳудуди басомад, см^{-1}	Пайвастаҳои координатсионии таҳқиқшуда						Мувофиқат
	I	II	III	IV	V	VI	
400-600	528,50 557,43	505,35 526,57 580,57		393,48 499,56			(Mo-O) (N-H)

600-800	600,52	624,94 669,3 702,09 746,45		659,66 765,74		754,17 798,53	(C=S) (Mo=O) (C-OH)
800-1200	948,98 1082,07 1134,14	848,68 945,12 1060,85 1138 1188,15	956,69 974,05 1064,71 1093,64	862,18 950,91 1006,84 1068,56 1105,21 1193,94	877,61 956,69 1074,35	952,84 1074,35 1116,78 1136,07 1159,22	(Mo=S) ν_s (SO) (NH ₂) (Mo=O)
1200-1400	1203,58 1375,25	1259,52 1305,81	1203,58 1364,34	1257,59 1278,81		1211,3 1298,09 1354,03	ν (C=O)
1400-1800	1608,53	1460,11 1560,41	1734,01 1749,44	1400,32 1479,40 1546,91 1608,63	1560,41 1649,14 1697,36	2854,65 2927,94	ν (C-N) ν (S-C-N)
1800-2400	2065,76 2330,01 2358,94 2584,61 3385,07 3398,57	1992,47 2098,55 2137,13 2198,85 2252,86 2378,23 2474,67 2555,68 2669,48	1992,47 2324,22 2345,44	1895,43 2360,87	1801,51 1942,32 2056,12 2334,72 2360,87	2040,69 2279,86 2372,44	ν_s (COO) ν (C-O) ν (CH ₂)
2400-4000			2804,50 3024,38 3134,33	2885,51 2947,23 3150,24 3321,41 3190,56 3518,16 3589,53	2796,78 2850,79 3008,95 3097,68 3111,18 3145,90	2432,24 2538,32 2667,56 2808,36 3026,31 3069,1 3134,33	ν (NH ₂)+(O H)

Хулоса

Дар натиҷаи омӯзиши спектрҳои инфрасурхи(ИС) моддаҳои аввала ва пайвастаҳои координатсионии синтезкардашуда, тарзи координатсияи лиганди гетеросиклӣ, ионҳои тиосианат, хлорид, бромид, формиат, атсетат ба молибден(V) муқаррар карда шуд.

Таҳлили спектрҳои инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии таҳқиқшаванда нишон медиҳад, ки молекулаи 1,2,4-триазолтиол (L) бо иони молибден (MoO³⁺) ба тариқи монодентатӣ, тавассути атоми сулфури гурӯҳи тиолӣ координатсия мешавад.

Дар асоси тағйирёбии спектрҳои инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии формиатӣ, атсетатӣ ва тиосианатии молибден (V) муайян карда шуд, ки гурӯҳи карбоксилӣ (COO⁻) тавассути атоми оксиген ва ионҳои тиосианат тавассути атоми нитроген бо молибден (V) ба тариқи монодентатӣ координатсия шудааст.

Адабиёт

1. *Оберлис, Д.* Биологическая роль макро-и микроэлементов у человека и животных / *Д. Оберлис, Б. Харланд, А. Скальный* // Санкт-Петербург: Наука, -2008. - 544 с.
2. *Стефалкина, Е. В.* Лекарственные средства. / *Е. В. Стефалкина* // - М.:ОЛМА -ПРЕСС, -2006. -960 с.
3. *Гайфутдиннова, Р. К.* Диоксо-бис-D-L-бета-фенил-альфа-аланинато-молибден, проявляющий свойства восстановителя структуры печени при гепатозе / *Р. К. Гайфутдиннова, В. Н. Байматов, Г. Р. Шакирова, Ю. И. Муринов и др.* // Авторское свидетельство СССР к патенту РФ, с. -1991, регистр. № 494165-04.
4. *Лавренова, Л. Г.* Координационные соединения нитратов металлов с 3,5-диамино-1,2,4-триазолом / *Л. Г. Лавренова, С. В. Лариновой, Л. А. Шелудякова* // Изв. СО АН СССР. Сер.хим.наук. -1984. №17. Вып. 6. -С. 66-70.
5. *Азизкулова, О. А.* Разнолигандные координационных соединения молибдена с 8-оксихинолином / *О. А. Азизкулова, А. Ш. Эгамбердиев, У. М. Джурабеков* // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2020. – № 1. – С. 167-182.
6. *Азизкулова, О. А.* Оксогалогенидные координационные соединения молибдена (V) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом (L) / *О. А. Азизкулова, Ш. Азизкул* // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2018. – № 1. – С. 146-152.
7. *Джурабеков, У. М.* ИК-спектры координационных соединений меди (II) с 1,2,4-триазолтиолом-5 и 3-метил-1,2,4-триазолтиолом-5 / *У. М. Джурабеков, О. А. Азизкулова, Х. С. Давлатова* // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1-2. – С. 183-185.
8. *Азизкулова, О. А.* Координационные соединения цинка (II) с 3-

- метил-1,2,4-триазолтиолом-5 / О. А. Азизкулова, Г. Н. Солехова // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2015. – № 4(161). – С. 105-112.
9. Аминджанов, А. А. Синтез и исследование комплексов рения(V) с 3-этил-4-метил-1,2,4-триазолтиолом-5 / А. А. Аминджанов, С. М. Сафармамадов, Н. Г. Кабиров // Докл. АН РТ. -2005. -Том. 48. - №1,2 -С. 35-47.
 10. Хамидова, Ф. Р. Координационные соединения молибдена(V) с 1,2,4-триазолтиолом и тиосемикарбазидом / Ф. Р. Хамидова // Автореф. дисс. на соис. учен. степ. канд. хим. наук. - Душанбе.: 2023. - 27 с.
 11. Хамидова, Ф. Р. Координационные соединения молибдена(V) с 1-фенил-2,3-диметилпирозолин-5-тионом (L) и 1,2,4-триазолтиолом (L¹) в среде 6 моль/л HCl / О. А. Азизкулова, Г. Ф. Рачинская, А. Ш. Эгамбердиев, Ф. Р. Хамидова, М. И. Абдулхаева, У.М. Джурабеков // Наука и инновация. Душанбе – 2019, – №3. – С. 154-156.
 12. Тарасевич Б. Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы / Б. Н. Тарасевич. - М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, -2012. -54 с.
 13. Харитонов, Ю. Я. К вопросу об интерпретации ИК-спектров поглощения селеномочевины и дейтеромочевины / Ю. Я. Харитонов, В. Д. Берего, А. В. Аблов // Журнал неорганической химии. -1970. -Том 15. -№11. -С 3163-3166.
 14. Азизкулова, О. А. Ацидолигандные 1,2,4-триазолтиольные координационные соединения молибдена (V). / О. А. Азизкулова, Ф. Р. Хамидова // Мат. республ. науч.-теор. конф. профессорско-преподавательского состава и сотрудников ТНУ, посвящ. 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан. Душанбе, 2016, С. 92-93.
 15. Азизкулова, О. А. Реакционная способность тиосианатных комплексов молибдена (V) с 1,2,4-триазолтиолом-5 / О. А. Азизкулова, Ф. Р. Хамидова // Мат. республ. конф. «Комплексообразование в растворах». Душанбе, 2012, С. 74-75.

ТАҶҚИҚИ СПЕКТРҲОИ ФУРҶАРИИ ИНФРАСУРҲИ ПАЙВАСТАҲОИ КООРДИНАТСИОНИИ 1,2,4-ТРИАЗОЛТИОЛИИ МОЛИБДЕН(V)

Фишурда. Барои муқаррар намудани координатсияи молекулаи 1,2,4-триазолтиол, ионҳои тиосианат ва атсидолигандҳо ба иони молибден (V), спектри инфрасурхи моддаи аввалаи $(\text{NH}_4)_2[\text{MoOCl}_5]$, лигандҳои

органикии озод, тиосианати аммоний ва як қатор пайвастаҳои координатсионии синтезшуда омӯхта шуданд. Мушоҳида карда шуд, ки хатҳои нурфурӯбарӣ дар спектри инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии 1,2,4-триазолтиоли молибден (V), ки ба лаппишҳои валентӣ ва деформатсионии банди (C=N)-и гетеросикл шомиланд, дар спектри пайвастаҳои синтезкардашуда амалан тағйир намеёбад. Ин таҳлил нишон медиҳад, ки атомҳои нитрогени ҳалқаи азолии 1,2,4-триазолтиол дар координатсияи иони комплексоилкунанда (MoO^{3+}) иштирок намеkunанд. Дар спектрҳои фурӯбарии инфрасурхи ҳамаи пайвастаҳои координатсионии бо таносуби молии Mo:L аз 1:2 то $\text{Mo:L} = 1:4$ ҳосил карда шуда, хатҳои интенсивии мансуб ба лаппишҳои валентии гурӯҳи молибденил $\gamma(\text{Mo=O})$ пайдо мешаванд. Дар спектри инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии таҳқиқкардашуда пастшавии хатҳои нурфурӯбарии банди $\gamma(\text{C=S})$ ба назар мерасад ва ин аз координатсияи монодентатии молекулаи 1,2,4-триазолтиол ба иони молибденил (MoO^{3+}) тавассути атомҳои сулфур шаҳодат медиҳанд. Аён шудани хатҳои интенсивнокиашон миёна дар спектри пайвастаҳои координатсионии тиосианатӣ далели ба иони молибденил (MoO^{3+}) ба тариқи монодентатӣ, тавассути атоми донории нитроген координатсия шудани ионҳои тиосианат мебошад. Ҳангоми муқоисаи спектрҳои фурӯбарии инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии карбоксилии таҳқиқшавандаи молибден (V) тағйирёбии хурди хатҳои нурфурӯбарии банди (C=O) ба назар мерасад ва ин исботи ба тариқи монодентатӣ тавассути атомҳои оксигени гурӯҳи карбоксилӣ координатсия шудани ионҳои формиат ва атсетатро ба ионимолибденил (MoO^{3+}) тасдиқ мекунад.

Калимавожаҳо: пентахлорооксомолибдати аммоний, 1,2,4-триазолтиол, молибден(V), спектрҳои инфрасурх, лиганди органикӣ, тарзи координатсияшавӣ, пайвастаҳои координатсионӣ, монодентатӣ, атомидонорӣ, хатҳои нурфурӯбарӣ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ КООРДИНАЦИОННЫХ 1,2,4-ТРИАЗОЛТИОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОЛИБДЕНА(V)

Аннотация. Для установления способа координации молекулы 1,2,4-триазолтиола, тиоцианат- иона и ацидолигандов с ионом молибдена (V) был изучен ИК-спектр $(\text{NH}_4)_2[\text{MoOCl}_5]$, свободного органического лиганда, тиоцианата аммония и ряд синтезированных координационных соединений. Полосы поглощения в ИК-спектре координационных соединений молибдена (V) с 1,2,4-триазолтиолом, принадлежавшие к колебаниям (C=N) группы гетероцикла, в спектре синтезированных соединений практически не изменяются. Проведенный анализ показывает,

что атомы азота азольного кольца молекулы 1,2,4-триазолтиола не участвуют в координации с ионом комплексообразователя (MoO^{3+}). В инфракрасных спектрах всех координационных соединений, полученных в мольных отношениях Mo:L от 1:2 до $\text{Mo:L} = 1:4$, проявляются интенсивные полосы, принадлежащие колебаниям валентной группы иона молибденила $\gamma(\text{Mo=O})$. В инфракрасном спектре координационных соединений молибдена(V) с 1,2,4-триазолтиолом наблюдается уменьшение интенсивности полос поглощений $\gamma(\text{C=S})$, что связано с монодентатной координацией молекулы 1,2,4-триазолтиола к иону молибденила (MoO^{3+}) через атомы серы. Проявление средней интенсивности полос тиоцианатных координированных связей свидетельствует о монодентатной координации тиоцианат-ионов с ионом молибденила (MoO^{3+}) через донорный атом азота. При сравнении инфракрасных спектров исследованных карбоксильных координационных соединений молибдена (V) наблюдается незначительное изменение полос поглощения связи (C=O), что доказывает монодентатную координацию формиат- и ацетат-ионов с ионами молибденила (MoO^{3+}) через атомы кислорода карбоксильной группы.

Ключевые слова: пентахлорооксомолибдат аммония, 1,2,4-триазолтиол, молибден(V), инфракрасные спектры, органический лиганд, способ координации, координационные соединения, монодентатно, донорный атом, полосы поглощения.

STUDY OF INFRARED ABSORPTION SPECTRA OF COORDINATION 1,2,4-TRIAZOLE THIOL COMPOUNDS OF MOLYBDENUM(V)

Annotation. To establish the mode of coordination of the 1,2,4-triazolethiol molecule, thiocyanate ion and acido ligands with the molybdenum (V) ion, the IR spectrum of $(\text{NH}_4)_2[\text{MoOCl}_5]$, a free organic ligand, ammonium thiocyanate and a number of synthesized coordination compounds were studied. The absorption bands in the IR spectrum of the coordination compounds of molybdenum (V) with 1,2,4-triazolethiol, belonging to the vibrations of the (C=N) heterocycle group, are practically unchanged in the spectrum of the synthesized compounds. The analysis shows that the nitrogen atoms of theazole ring of the 1,2,4-triazolethiol molecule do not participate in the coordination with the complexing agent ion (MoO^{3+}). In the infrared spectra of all coordination compounds obtained in the molar ratios Mo:L from 1:2 to $\text{Mo:L} = 1:4$, intense bands appear, belonging to the vibrations of the valence group of the molybdenyl ion $\gamma(\text{Mo=O})$. In the infrared spectrum of the coordination compounds of molybdenum(V) with 1,2,4-triazolethiol, a decrease in the intensity of the absorption bands $\gamma(\text{C=S})$ is observed, which is due to the monodentate coordination of the 1,2,4-triazolethiol molecule to the molybdenyl ion (MoO^{3+}) through sulfur atoms. The manifestation of the medium intensity of

the bands of thiocyanate coordinated bonds indicates the monodentate coordination of thiocyanate ions with the molybdenyl ion (MoO^{3+}) through the donor nitrogen atom. When comparing the infrared spectra of the studied carboxyl coordination compounds of molybdenum (V), an insignificant change in the absorption bands of the ($\text{C}=\text{O}$) bond is observed, which proves the monodentate coordination of formate and acetate ions with molybdenyl ions (MoO^{3+}) through the oxygen atoms of the carboxyl group.

Key words: ammonium pentachlorooxomolybdate, 1,2,4-triazoethiol, molybdenum(V), infrared spectra, organic ligand, coordination mode, coordination compounds, monodentate, donor atom, absorption bands.

Маълумот дар бораи муаллиф: *журабеков Убайдулло Махмадсафиевич* – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, н.и.х., дотсенти кафедраи химияи ғайриорганикӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, жумхурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 918960660. **E-mail:** ubaid011002@mail.ru.

Азизкулова Онаҷон Азизкуловна – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, д.и.х., профессори кафедраи химияи ғайриорганикӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, жумхурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 935007544. **E-mail:** ona41@mail.ru.

Ҳамидова Фируза Рауфовна – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, н.и.х., муаллими калони кафедраи технологияи истеҳсолоти химиявӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, жумхурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 911087295. **E-mail:** firuzaha@mail.ru.

Абдулҳаева Маърифат Исмонуловна – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, н.и.х., дотсенти кафедраи химияи ғайриорганикии **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, жумхурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ 17. **Телефон:** (+992) 558490220. **Email:** abdulhaeva0470@mail.ru.

Сведения об авторах: *Джурабеков Убайдулло Махмадсафиевич* – Таджикский национальный университет, к.х.н., доцент кафедры неорганической химии. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 918960660. **Email.** ubaid011002@mail.ru.

Азизкулова Онаджон Азизкуловна – Таджикский национальный университет, д.х.н., профессор кафедры неорганической химии. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 935007544. **E-mail.** ona41@mail.ru.

Ҳамидова Фируза Рауфовна – Таджикский национальный университет, к.х.н., старший преподаватель кафедры технологии химических производств. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки 17. **Телефон:** (+992) 911 08 72 95. **E-mail:** firuzaha@mail.ru.

Абдулҳаева Маърифат Исмонуловна – Таджикский национальный университет, к.х.н., доцент кафедры неорганической химии **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистана, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 558490220. **E-mail:** abdulhaeva0470@mail.ru.

Information about the authors: *Jurabekov Ubaydullo Makhmadsafievich* – Tajik National University, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department

of Inorganic Chemistry. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 918960660. **E-mail:** ubaid011002@mail.ru.

Azizkulova Onajon Azizkulovna - Tajik National University, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Inorganic Chemistry. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 935007544. **E-mail:** ona41@mail.ru.

Khamidova Firuza Raufovna – Tajik National University, Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Chemical Production Technology. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue 17. **Phone:** (+992)911 08 72 95. **E-mail:** firuzaha@mail.ru.

Abdulhaeva Marifat Ismonkulovna – Tajik National University, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Inorganic Chemistry **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 558490220. **E-mail:** abdulhaeva0470@mail.ru.

Мақола ба редакция ворид шуд: 06.06.2026

Аз тақриз баргашт: 27.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 28.08.2026

УДК 541.123: 661.634

ПЕРЕРАБОТКА ЗЕРНИСТЫХ ФОСФОРИТОВЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА

Маматов Э.Д., *Хисайнов Т.Х., **Валиев Ю.Я.

Таджикский государственный педагогический университет им. С.Айни

***Кулябский государственный университет им. А.Рудаки**

****Институт химии им. В.И.Никитина НАНТ**

Фосфорные минеральные удобрения в республику Таджикистан централизованно поставлялись и поставляются до сих пор из России, Казахстана и частично из Узбекистана. В связи с расходами на поставку и транспортировку фосфорных удобрений, в республике резко повысилась стоимость фосфорных минеральных удобрений такие как: суперфосфат, аммофос, нитроаммофоска и др.

На сегодняшний день анализы рынка минеральных удобрений показывают, что цены на фосфорные удобрения на мировом рынке составляют в пределах от 450 до 650 \$ США за 1 т. В результате, чего доставка фосфорных минеральных удобрений в Таджикистан из-за рубежа значительно сократилась. Вследствие этого, за последние 25-30 лет систематические недовнесение фосфорных удобрений в почвы Таджикистана привели к их истощению и соответственно снижению урожайности всех видов сельхозпродукции, особенно бахчевых культур и хлопчатника.

С другой стороны, при таких высоких ценах более выгодным становится разработка имеющихся в Таджикистане месторождений фосфоритов и создание собственного предприятия по производству фосфорных минеральных удобрений.

Сохранения и укрепления продовольственной безопасности Республики Таджикистан, развития сельского хозяйства и обеспечения его достаточным количеством дешевым фосфорным минеральным удобрением является *актуальной задачей*.

Для этого необходимо создать собственное производство фосфорных удобрений на базе имеющихся в Таджикистане фосфорсодержащего минерального сырья.

В связи, с чем в 04.08.1997 г., №333 Правительством Республики Таджикистан было принято постановление: «О мерах по использованию месторождений фосфоритов для применения их в народном хозяйстве». Учитывая это постановление в данной работе проведена комплексное физико-химическое и технологическое изучение месторождений фосфоритов Таджикистана, для разработки технологии их обогащения и получения из концентратов монофосфорных, комбинированных и полиминеральных удобрений.

Для рентабельного освоения этих фосфоритовых месторождений необходима разработка комплексной, экологически и экономически выгодной безотходной технологии. Ценность месторождений фосфоритовых руд, прежде всего, определяется их запасами, содержанием P_2O_5 и присутствием в руде других минеральных примесей.

Опубликованные литературные данные [1, с. 45-47]; [2, с. 50-59]; [3, с. 112-118]; [4, с. 3-10]; [5, с. 37-38] и наши исследования показывают, что все изученные месторождения фосфоритов в основном приурочены к песчано-глинистым и карбонатным отложениям юкарского горизонта среднего эоцена [6, с. 78-80]; [7, с. 45-57]; [8, с. 112-118]; [9, с. 102-108]; [10, с. 8].

Цель настоящего исследования заключается в разработке комплексной переработки фосфоритовых руд Каратагской группы месторождений, которые относятся отложениям юкарского горизонта среднего эоцена.

В мировой практике и в химической промышленности, именно к способам обогащения, комплексной их переработки, технологии минеральных солей и производстве минеральных удобрений внедрены разнообразные работы.

Также известен способ получения минеральных удобрений [11, с. 88-90] путем сернокислотного разложения фосфоритов до фосфорной кислоты

и фосфогипса, отделение нерастворимого остатка вместе с фосфогипсом фильтрацией и переработки фосфорной кислоты в удобрения.

Недостатком данного способа является то, что при использовании в качестве сырья фосфорита в результате сернокислотного разложения сырья получается суспензия, скорость отстаивания которой чрезвычайно мала. Из такой суспензии нельзя получить удобрение из-за высокого содержания нерастворимых примесей, а также значительное количество отходов фосфогипса до 1,4 т на 1 т удобрения.

В ходе исследований нами выявлено, что при применении метода флотации для фосфоритовых руд Каратагской группы, содержащие в качестве примесей карбонаты, трудно поддаются традиционным методам обогащения. Флотационные свойства фосфатов и карбонатов близки, что затрудняет их эффективное разделение методом флотации. Обогащение этого типа руд методом обжига требует больших затрат электроэнергии, кроме того, этого метода целесообразно применять к ограниченному кругу карбонатных руд.

Нами разработан способ получения фосфатного концентрата, предусматривающий измельчение исходного сырья (фосфоритов) и последующую его обработку, а именно промывку, классификацию измельченного продукта для выделения отвальных хвостов, сушка промытого продукта и получение фосфатного концентрата в более чистом виде содержанием P_2O_5 -28-30%.

На основе результатов исследований разработана принципиальная технологическая схема комплексной переработки зернистых фосфоритовых руд Таджикистана, которая приведена на рисунке 1.

Разработанный способ получения концентрата фосфорита и фосфорных минеральных удобрений, в частности (простого или двойного) суперфосфата, кремнезема (диоксида кремния), бентонитовых глин (бентофоса), а также и других соединений как сульфат алюминия и железа, используемых в промышленности и сельском хозяйстве [10, с. 8], а из отходов получается сырьё для строительной керамики и литейных формовочных материалов.

Следует, отметить, что из полученного фосфатного концентрата фракций >0.3-2мм с содержанием P_2O_5 до 28-30% является технологическим сырьём для получения фосфорных минеральных удобрений согласно ГОСТ 22275-90. Концентрат апатитовый. Технические условия.

Из полученного фосфатного концентрата было получено кварц - полевошпатовый концентрат и 3 типа фосфорных минеральных удобрений.

Фосфоритовая мука - получено путем измельчения фосфатного концентрата на шаровой мельнице до размера зёрен 0.05мм и менее.

Остаток в сите 0.2мм не более 10%. Полученная фосфоритовая мука отвечает по содержанию P_2O_5 не менее 27% первому сорту, согласно ГОСТ 5716-74. «Мука фосфоритная. Технические условия».

Суперфосфат (простой) – получен по существующей в промышленности классической технологией [11, с. 88-90.] обработкой фосфоритовой муки с концентрированной серной кислотой в реакторе, оснащенной мешалкой. Время обработки 30 мин. Прореагировавшая пульпа выгружается в пластмассовые поддоны и оставляется на дозревание и периодически перемешиваются. После 10-15 дней суперфосфат после проверки на кислотность упаковываются в полиэтиленовые мешки. Полученный суперфосфат по содержанию общей P_2O_5 – 21- 22% имеющий 15%- ный растворимость в 2%-ной лимонной кислоте и содержанием остаточного H_3PO_4 до 5% соответствующий 2-ому сорту, согласно ГОСТ 5956-78. «Суперфосфат, гранулированный из апатитового концентрата без добавок и с добавками микроэлементов. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5, 6)».

Бентофос – получен из вымытого шлама исходной фосфоритовой руды, состоящего в основном из глинистого минерала-бентонита с примесью кальцита. Бентонитовый шлам был обработан с фосфорной кислотой – H_3PO_4 . Разбавленная фосфорная кислота в свою очередь был получен путем обработки фракции фосфоритовой руды <0.3мм, соляной кислотой. При взаимодействии мелкозернистые зёрна фосфатов с HCl образует фосфорную кислоту и кварцевый песок отделяется как чистый продукт с содержанием SiO_2 более 90%. При обработке бентонита с разбавленной ортофосфорной кислотой содержащаяся в составе бентонита примеси кальцита и фосфоритовые зерна реагируя с кислотой образуют гидрофосфат ($CaHPO_4$) и дигидрофосфат ($Ca(H_2PO_4)_2$) кальция.

Кварцевый песок - получен из отходов фосфоритовых руд. Содержания в нем оксида кремния составляет более 96.194% соответствующий ГОСТ 22551-77. Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности. Технические условия.

Существенным преимуществом разработанного способа является его безотходность, побочные продукты процесса переработки можно применять в производстве. Это и является техническим результатом разработанного комплексного способа переработки фосфоритов Каратагской группы месторождений.

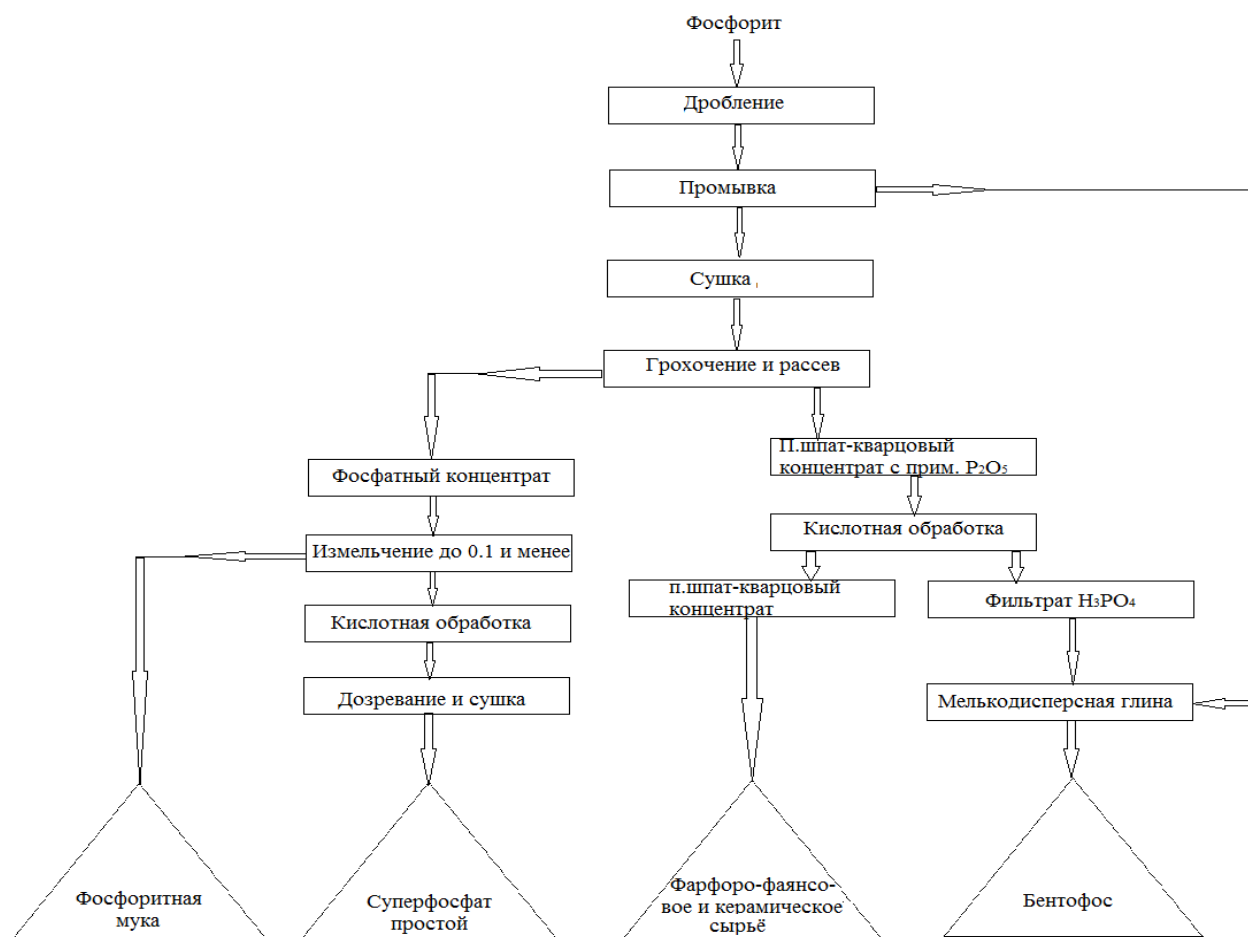


Рисунок 1. Комплексная технологическая схема переработки зернистых фосфоритовых руд

Из полученных фосфатных концентратов месторождений Большой Яхдон, Каратаг, Хочильёр и Камбар после измельчения используя промышленную технологию, были получены опытные партии суперфосфата, бентофоса и кварц-полевошпатового концентрата.

Полученная из фосфоритовых руд побочная продукция может быть использовано во многих отраслях производства. Кварцевые концентраты используется в производстве жидкого стекла и стекольной промышленности. Монтмориллонитовые глины используют в качестве сорбентов, и может, служит сырьем для производства керамических изделий и т.д.

Полученные результаты показывают, что на месторождения фосфоритовых руд Южного склона Гиссарского хребта можно разработать комплексную безотходную экологически чистую и экономически выгодную инновационную технологию с получением ряда конечных полезных продуктов.

Литература

1. *Ильяшенко В.Я.* Фосфориты палеогеновых отложений Центральной части Средней Азии. – Ж. Литология и полезные ископаемые. 1967. №6. – С.45-47.
2. *Олейник В.В.* Условия формирования сузакских (нижний эоцен) фосфоритов Таджикской депрессии. – Ж. Литология и полезные ископаемые. 1969. №3. – С.50-59.
3. *Олейник В.В.* Фосфориты алайских слоёв (средний эоцен) Гиссаро-Тукестанской горной области. – Ж. Литология и полезные ископаемые, 1971. №3. – С.112-118.
4. *Джанобилов М.Д.* Петрографическая характеристика фосфоритовых пород месторождения Риват. – В кн. Вопросы геологии Таджикистана. Вып. 4. 1975. – С.3-10.
5. *Джураев Ш.Ж.* Минералогическая природа фосфатного вещества фосфоритов Юго-Западных отрогов Гиссарского хребта. – Докл. АН Узб. ССР. 1973. №1. – С.37-38.
6. *Валиев Ю.Я. и др.* Изучение фосфоритов Таджикистана и получение из них минеральных удобрение / *Ю.Я.Валиев, Х.Б.Кабгов, М.Маматов, Л.Г.Горенкова, Дж. Бобокалонов* // Сборник материалов XIII Нумановских чтений: «Достижения химической науки за 25 лет Государственной независимости Республики Таджикистан». Душанбе, 2015г. – С.78-80.
7. *Ильященко, В.Я.* Фосфориты палеогеновых отложений центральной части Средней Азии / *В.Я. Ильященко* // – Ж. Литология и полезные ископаемые. 1967. №6. – С.45-57.
8. *Олейник В.В.* Фосфориты алайских слоёв среднего эоцена Гиссаро-Туркистанской горной области / *В.В. Олейник* // – Ж. Литология и полезные ископаемые. 1971. №3. – С.112-118.
9. *Горенкова, Л.Г. и др.* Влияние фосфорных удобрений, полученных из фосфоритов Каратагского месторождения на рост и развитие хлопчатника / *Л.Г. Горенкова, Б.Б. Гиясидинов, Х.А. Абдулаев, Х.Б. Кабгов, Ю.Я. Валиев, Э.Д. Маматов, Г.Т. Холикова* // Республиканская научно-практическая конференция: «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». – Душанбе, 2017. – С.102-108.
10. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 1037. Способ комплексной переработки зернистых фосфоритовых руд / *Маматов Э.Д., Валиев Ю.Я., Кабгов Х.Б., Хисайнов Т.Х., Давлатов Б.Д.*; ГУ «ИХ АНРТ». – 28.05.2019, Опул. в Бюл. №128. Зарегистрировано в Госреестре 26.06.2019г. – 8с.

11. Кармышов В.Ф. Химическая переработка фосфоритов. – М. "Химия", 1983. – С. 88-90.

ПЕРЕРАБОТКА ЗЕРНИСТЫХ ФОСФОРИТОВЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА

Аннотация. В статье приведены результаты комплексной переработки зернистых фосфоритовых руд, включающий, получение суперфосфата путем разложения фосфатного концентрата. Показано, что руда после дробления промывают на классификаторе для обезшламливания, где происходит отделения глинистых частиц и кварц-полевошпат-фосфатного концентрата. Установлено, что количество фосфатных зёрен в фосфоритовых рудах колеблется от 25 до 40% на месторождениях Каратаг, Большой Яхдон, Камбар, Хочильёр и др. После сушки концентрат подвергают грохочению, путем измельчения фосфатного концентрата получают фосфоритовой муки, или обрабатывая с концентрированной серной кислотой и получено суперфосфат. Из вымытого шлама фосфоритовой руды, состоящего в основном из глинистого минерала-бентонита, с примесью кальцита путем обработки фосфорной кислотой получено новый вид минерального удобрения “бентофос”. Используя промышленную технологию, разложением серной кислотой были получены опытные партии суперфосфата, бентофоса и кварцевого концентрата и разработана соответствующая технология их переработки.

Ключевые слова: фосфоритовая руда – дробление – обогащение – оксид фосфора – извлечение – получение – фосфорное минеральное удобрение.

КОРКАРДИ МАЪДАНҲОИ ФОСФОРИТИ ДОНАШАКЛИ ТОҶИКИСТОН

Фиишурда. Дар мақола натиҷаҳои коркарди комплекси маъданҳои фосфорити донашакл, аз ҷумла истеҳсоли суперфосфат бо роҳи таҷзияи концентрати фосфорит, пешниҳод шудаанд. Нишон дода шудааст, ки пас аз майдакунӣ, маъдан дар таснифкунанда барои тозакунии лойи маъдан шуста мешавад, ки дар он ҷо зарраҳои гил ва концентрати кварс-шпати-фосфатӣ ҷудо карда мешаванд. Муайян карда шудааст, ки миқдори донҳои фосфат дар маъданҳои фосфорит дар қонҳои Қаратоғ, Яхдони калон, Қамбар, Хочилёр ва дигар қонҳо аз 25 то 40% -ро ташкил медиҳад. Пас аз хушк шудан, концентрати ҳосилшударо элак мекунанд; бо роҳи майда кардани концентрати фосфорит орди фосфатӣ ё бо роҳи коркарди он бо кислотаи концентронидаи сулфат суперфосфат ба даст оварда мешавад. Аз лойҳои шусташудаи маъдани фосфоритӣ, ки асосан аз минерали гилии

бентонит бо омехтаи калсит иборат буд, бо роҳи коркард бо кислотаи ортофосфат як навъи нави нуриҳои минералӣ “бентофос” ба даст оварда шуд. Бо истифода аз технологияи саноатӣ, партияҳои таҷрибавии суперфосфат, бентофос ва концентрати кварс бо роҳи таҷзия бо кислотаи сулфат ба даст оварда шуданд ва технологияи мувофиқ барои коркарди онҳо таҳия карда шуд.

Калимаҳои калидӣ: маъдани фосфорит – майдакунӣ – ғанӣгардонӣ – оксиди фосфор – истихроҷ – истеҳсол – нуриҳои минералии фосфордор.

PROCESSING OF GRANULATED PHOSPHORITE ORES IN TAJIKISTAN

Annotation. This article presents the results of the integrated processing of granular phosphate ores, including the production of superphosphate by decomposing phosphate concentrate. It is shown that after crushing, the ore is washed in a desliming classifier, where clay particles and quartz-feldspar-phosphate concentrate are separated. It was found that the amount of phosphate grains in phosphate ores ranges from 25 to 40% at deposits such as Karatag, Bolshoy Yakhdon, Kambar, Khochilior, and others. After drying, the concentrate is screened, and phosphate flour is obtained by grinding the phosphate concentrate, or by treating it with concentrated sulfuric acid to obtain superphosphate. A new type of mineral fertilizer, bentofos was produced from the washed phosphate ore sludge, consisting primarily of the clay mineral bentonite with an admixture of calcite, by treatment with phosphoric acid. Using industrial technology, experimental batches of superphosphate, bentophos and quartz concentrate were obtained by decomposition with sulfuric acid, and a corresponding technology for their processing was developed.

Key words: phosphorite ore, crushing, enrichment, phosphorus oxide, extraction, production, phosphorus mineral fertilizer.

Седения об авторах: *Маматов Эргаш Джумаевич* – к.т.н., доцент кафедры общей и неорганической химии химического факультета Таджикского государственного педагогического университета имени С.Айни. Тел. моб: +992 93 488 48 41. E-mail: ergash76@mail.ru.

Хисайнов Тешахон Холмадович – старший преподаватель кафедры химии и методики преподавания, факультет химии и биологии Кулябского государственного университета имени А.Рудаки. Тел. моб.: +992 98 574 98 77. E-mail: hisainov69@mail.ru.

Валиев Юсуф Якубжанович – к.геол.-минер.н., ведущий научный сотрудник Института химии имени В.И.Никитина НАНТ. Тел. моб: +992 91 915-97-17.

Дар бораи муаллифон: *Маматов Эргаш Чумъаевич* – н.и.т., дотсенти кафедраи химияи умумӣ ва ғайриорганикӣ, факултети химия, Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни. Тел. мобилӣ: +992 93 488 48 41. E-mail: ergash76@mail.ru.

Хисайнов Тешахон Холмадович – муаллими калони кафедраи химия ва методикаи таълими он, факултети химия ва биология, Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи А. Рӯдакӣ. Тел. мобилӣ: +992 98 574 98 77. E-mail: hisainov69@mail.ru.

Валиев Юсуф Яъқубзонов – н.и.геол. ва минер., корманди пешбари илмӣи Институти химияи ба номи В.И. Никитина Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел. мобилӣ: +992 91 915-97-17.

About the Authors: Mamatov Ergash Djumaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of General and Inorganic Chemistry, Faculty of Chemistry, S. Ayni Tajik State Pedagogical University. Mobile phone: +992 93 488 48 41. E-mail: ergash76@mail.ru.

Hisainov Teshakhon Kholmadovich – Senior Lecturer, Department of Chemistry and Methods of its Teaching, Faculty of Chemistry and Biology, Kulyab State University named after A. Rudaki. Mobile phone: +992 98 574 98 77. E-mail: hisainov69@mail.ru.

Valiev Yusuf Yakubzhanovich – candidate of geological and mineralogical sciences, leading researcher at the V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of the Tajikistan. Mobile phone: +992 91 915-97-17.

Рецензент: Баротов Н.И. – к.х.н., (02.00.04 – физическая химия) кафедра физики и географии Дангаринского государственного университета

Мақола ба редакция ворид шуд: 08.06.2026

Аз тақриз баргашт: 29.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 29.08.2026

УДК 669.45.018.8.24/882

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦИНКОВОГО СПЛАВА ZnAl1.0Ni0.5 С ЛИТИЕМ

Муродализода У.М., *Ганиев И.Н., *Окилов Ш.Ш.,
Холов Ё.Дж., **Алиева Л.З.

Дангаринский государственный университет

*Институт химии им. В.И. Никитина НАНТ

**Международный университет туризма и предпринимательства
Таджикистана

Введение

Цинк является одним из наиболее широко используемых цветных металлов благодаря своей высокой коррозионной стойкости, технологичности и доступности. Он применяется в различных отраслях промышленности, включая строительство, машиностроение, электротехнику и химическую промышленность. Основная область применения цинка — защита стали от коррозии [1, с.542].

Цинковые покрытия, получаемые методами горячего цинкования и гальванизации, обеспечивают долговечность металлических конструкций за счёт как барьерного, так и электрохимического (протекторного)

механизма защиты. Цинк также широко используется в производстве сплавов для литья под давлением. Сплавы на его основе обладают хорошей жидкотекучестью, малой усадкой и высокой точностью воспроизведения формы, что делает их востребованными при изготовлении сложных деталей в автомобильной и приборостроительной промышленности [2, с.446].

Микроструктура чистого цинка определяется его гексагональной плотноупакованной кристаллической решёткой. Такая структура обуславливает анизотропию механических свойств и ограниченную пластичность при комнатной температуре. При кристаллизации цинка формируется дендритная структура, параметры которой зависят от условий охлаждения. Медленное охлаждение приводит к образованию крупнозернистой структуры, тогда как быстрое охлаждение способствует измельчению зерен и повышению прочностных характеристик. Легирование цинка различными элементами, такими как алюминий, медь и литий, существенно влияет на его микроструктуру. В сплавах могут образовываться интерметаллические соединения, изменяется размер зерна и распределение фаз, что позволяет регулировать свойства материала [3, с.646].

Целью настоящей работы является исследование микроструктуры цинкового сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ с литием с использованием микроскопии и установление закономерностей влияния содержания лития на процессы структурообразования и фазовый состав сплавов.

Материалы и методики исследования

Для получения сплавов цинкового сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ с литием с использовалась металлический цинк, алюминий и никель. Легирование осуществляли металлическим литием марки **Ли-1-99,9** в шахтной лабораторной печи типа СШОЛ при температуре 650-700°C. Содержание лития в сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ варьировалось в пределах 0,05–1,0 мас. %. Из полученных сплавов для исследования микроструктуры отливали цилиндрические образцы диаметром 16 мм и длиной 10 мм в графитовую изложницу (рис. 1).



Рис. 1. Образец из цинкового сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ с литием (1.0 мас.%)

Изучение микроструктуры является одним из основных методов исследования металлических сплавов. Оно позволяет устанавливать влияние различных видов деформационной и термической обработки на свойства изделий на основе цинка, а также выявлять причины возникновения дефектов. Микроструктура цинкового сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ с литием исследовалась с использованием светового микроскопа КР-L3230-2К. (рис. 2). Исследования выполнялись согласно методикам, описанным в работах [4, с.6; 5, с.9].



Рис. 2. Микроскоп КР-L3230-2К

Для исследования микроструктуры исследуемых образцов из полученного расплава отливались цилиндрические образцы диаметром 10-16 мм и длиной 5-10 мм. Каждый образец предварительно отшлифовывали, обезжиривали спиртом и погружали в 5%-ном кислоты (HNO_3). Время травления составляло от 10 до 20 с. После травления микрошлиф промывали в проточной воде и тщательно высушивали прижатием к чистой фильтровальной бумаге.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Сравнительный анализ показал, что увеличение содержания лития оказывает существенное влияние на микроструктуру сплавов. С увеличением концентрации лития наблюдается измельчение зеренной структуры и появление новых фаз, что связано с образованием интерметаллических соединений. Эти фазы, как правило, располагаются по границам зерен или в виде дисперсных включений в матрице (рис. 3).

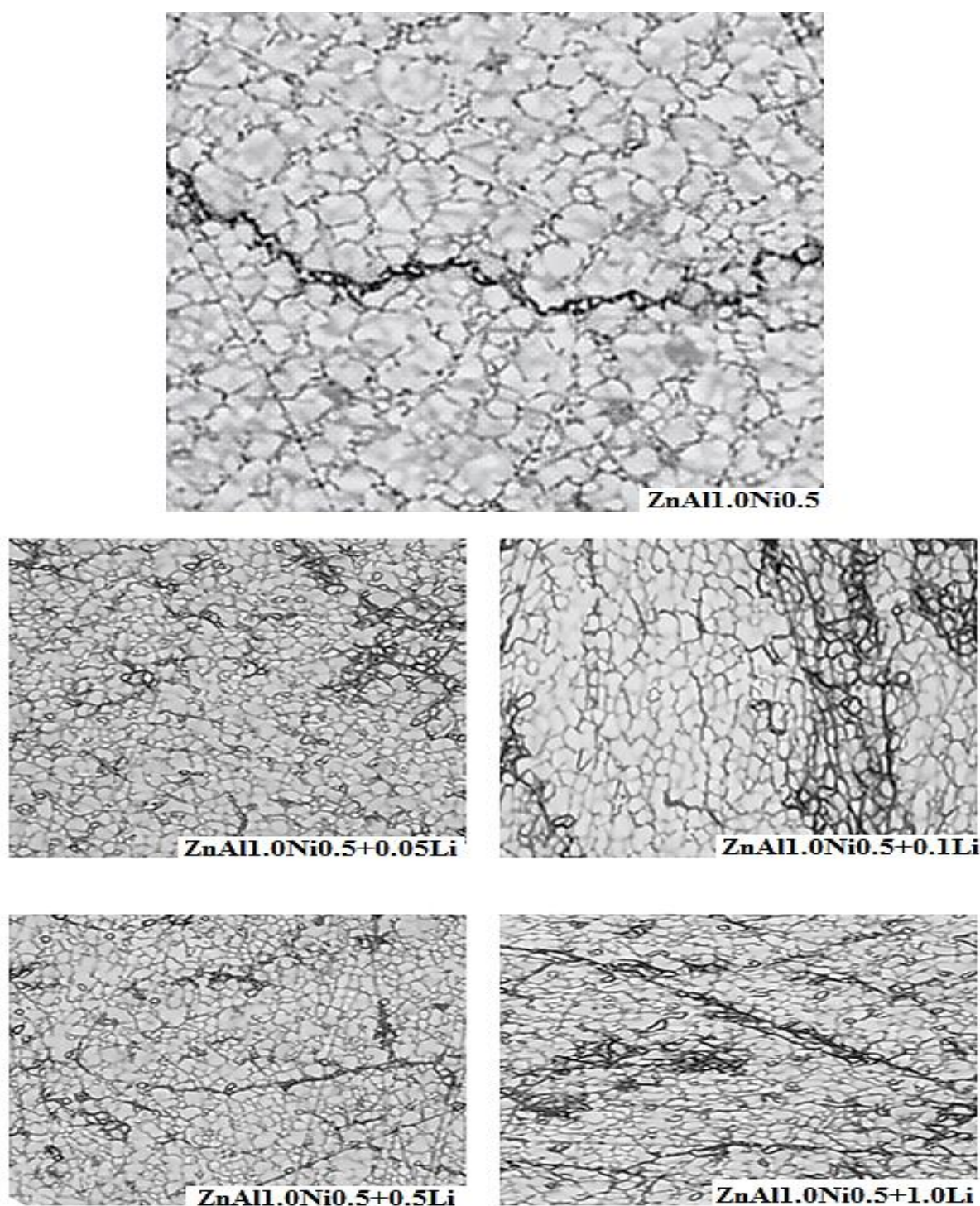


Рис. 3. Микроструктуры (x200) цинкового сплава $ZnAl_{1.0}Ni_{0.5}$ с литием

Таким образом, исследование подтвердило, что регулирование содержания лития в сплавах с цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5 позволяет управлять их микроструктурой и формировать материалы с заданными свойствами, что представляет практический интерес для дальнейшего материаловедения.

Выводы

1. В результате проведённого исследования была изучена микроструктура цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5 с литием с применением металлографии. Полученные данные позволили установить основные особенности структурного состояния данных сплавов.

2. Показано, что микроструктуры цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5 существенно зависят от содержания лития. При изменении концентрации наблюдаются изменения размера зерна, формы структурных составляющих и характера распределения фаз.

3. Установлено, что с увеличением содержания лития в структуре сплавов появляются дополнительные фазовые составляющие, что свидетельствует об образовании интерметаллических соединений в сплаве ZnAl1.0Ni0.5.

Литература

1. Гуляев А. П. *Металловедение: учебник для вузов / А. П. Гуляев.* - М., 1986. - 542 с.
2. *Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник / [В. Б. Арзамасов и др.]; под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепихина.* - М., 2009. – 446 с.
3. *Материаловедение: учебник для вузов / [Б. Н. Арзамасов и др.].* - М., 2005. - 646 с.
4. Курбонов Д.Ч., Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш., Ходжаназаров Х.М./Микроструктура и механические свойства алюминиевого проводникового СПЛАВА ALV0,1 легированного литием// Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. 2024. № 2-4-2 (129). С. 118-125.
5. Рахмонзода М.Ф., Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш./ Влияние галлия на микроструктуру алюминиевого проводникового сплава ALV0.1// Вестник Дангаринского государственного университета. 2025. № 3 (33). С. 104-112.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦИНКОВОГО СПЛАВА ZnAl1.0Ni0.5 С ЛИТИЕМ

Аннотация: В работе представлены результаты изучения микроструктуры цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5 с литием. Повышение концентрации легирующего компонента измельчает структуру, и она становится однородной и мелкозернистой. Установлено, что добавление лития существенно влияет на зеренную структуру сплава ZnAl1.0Ni0.5, способствует образованию интерметаллических фаз и изменяет механические свойства сплавов. Выявлены закономерности формирования эвтектических структур и их влияние на прочностные характеристики материала.

Ключевые слова: цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5, литий, микроструктура.

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE OF ZINC ALLOY ZnAl1.0Ni0.5 WITH LITHIUM

Annotation. The paper presents the results of studying the microstructure of zinc alloy ZnAl1.0Ni0.5 with lithium. Increasing the concentration of the alloying component grinds the structure, and it becomes homogeneous and fine-grained. It was found that the addition of lithium significantly affects the grain structure of the ZnAl1.0Ni0.5 alloy, promotes the formation of intermetallic phases, and changes the mechanical properties of the alloys. The patterns of formation of eutectic structures and their influence on the strength characteristics of the material are revealed.

Keywords: zinc alloy ZnAl1.0Ni0.5, lithium, microstructure.

ОМУҶИШИ МИКРОСТРУКТУРАИ ХҶЛАИ РУҶ ZnAl1.0Ni0.5 БО ЛИТИЙ

Фитшурда. Дар кор натиҷаҳои омуҷиши микроструктураи хӯлаи руҳ ZnAl1.0Ni0.5 бо литий оварда шудаанд. Афзоиши консентратсияи ҷузъи хӯлай сохторро майда мекунад ва он яхела ва донача мешавад. Муайян карда шудааст, ки илова кардани литий ба сохтори донаҳои хӯлаи ZnAl1.0Ni0.5 таъсири назаррас мерасонад, ба ташаккули фазҳои интерметаллӣ мусоидат мекунад ва хосиятҳои механикии хӯлаҳоро тағир медиҳад. Қонуниятҳои сохторҳои эвтектикӣ ва таъсири онҳо ба хусусиятҳои устувории мавод ошкор карда шуданд.

Калимаҳои калидӣ: Хӯлаи руҳ ZnAl1.0Ni0.5, литий, микроструктура.

Сведения об авторах: Муродализода Умед Муродали – старший преподаватель кафедры инженерии и энергетики Дангаринского государственного университета. Адрес: Республика Таджикистан, Дангара, село Маликова. Тел.: (+992) 900 44 60 87, эл. почта: umedmm.87@mail.com

Ганиев Изатулло Наврузович – д.х.н., профессор, академик Национальной академии наук Таджикистана, заведующий лабораторией «Коррозионностойкие материалы» ГНУ Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана. E-mail: ganiev48@mail.ru

Окилов Шахром Шукурбоевич – к.т.н., старший научный сотрудник Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана. E-mail: Okilov70070@mail.ru

Холов Ёрмахмад Джумахмадович – к.т.н., старший преподаватель кафедры инженерии и энергетики Дангаринского государственного университета. Адрес: Республика Таджикистан, Дангара, село Талхоб. E-mail: kholov250785@mail.ru.

Алиева Лола Зухурбековна – к.т.н., специалист в области материаловедения Научно-исследовательского института устойчивого развития и зеленой экономики Международного университета туризма и предпринимательства Таджикистана. Адрес: Душанбе, 734055, ул. Борбад 48/5).Тел: (+ 992) 988 53 63 15 E-mail: lolaalieva101195@mail.ru.

Маълумотнома дар бораи муаллифон: Муродализода Умед Муродалӣ – муаллими калони кафедраи муҳандисӣ ва энергетикаи Донишгоҳи давлатии Данғара. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, деҳаи Маликова. Тел: (+992) 900 44 60 87, E-mail umedmm.87@mail.com

Ганиев Изатулло Наврузович – д.и.к., профессор, академики Академии миллии илмҳои Тоҷикистон, мудири озмоишгоҳи «Маводҳои ба зангзанӣ тобовар»-и Муассисаи давлатии илмӣ Инститuti химияи ба номи В.И. Никитини Академии миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: ganiev48@mail.ru

Окилов Шахром Шукурбоевич – н.и.т., ходими калони илмӣ Инститuti химияи ба номи В.И. Никитини Академии миллии илмҳои Тоҷикистон, E-mail: Okilov70070@mail.ru

Холов Ёрмахмад Ҷомаҳмадович – н.и.т., муаллими калони кафедраи “Муҳандисӣ ва энергетика”-и Донишгоҳи давлатии Данғара. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, деҳаи Талхоб. E-mail kholov250785@mail.ru.

Алиева Лола Зухурбековна – н.и.т., мутахассиси соҳаи материалшиносии Пажӯҳишгоҳи илмӣ-тадқиқотии рушди устувор ва иқтисоди сабзи Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон. Адрес: 734055, ш. Душанбе, кӯчаи Борбад 48/5. Телефон: (+992) 988 53 63 15 Пойтаи электронӣ: lolaalieva101195@mail.ru

Information about the Authors: Murodalizoda Umed Muradali – Senior Lecturer at the Department of Engineering and Energy, Danghara State University. Address: Malikova Village, Danghara, Republic of Tajikistan. Tel.: (+992) 900 44 60 87. E-mail: umedmm.87@mail.com

Ganiev Izatullo Navruzovich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Head of the Laboratory of Corrosion-Resistant Materials at the State Scientific Institution V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: ganiev48@mail.ru

Okilov Shakhrom Shukurboevich – Candidate of Technical Sciences Senior Research Fellow at the V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: Okilov70070@mail.ru

Kholov Yoormakhammad Jomakhammadovich – Candidate of Sciences, Senior Lecturer at the Department of Engineering and Energy, Danghara State University. Address: Talkhob Village, Danghara, Republic of Tajikistan. E-mail: kholov250785@mail.ru

Alieva Lola Zukhurbekovna – Candidate of Technical Sciences (Ph.D. in Engineering), Head of Department and Specialist in Materials Science at the Research Institute for Sustainable Development and Green Economy of the International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan. Address: 48/5 Borbad Street, Dushanbe 734055, Republic of Tajikistan. Tel.: (+992) 988 53 63 15. E-mail: lolaalieva101195@mail.ru

Мақола ба редакция ворид шуд: 09.06.2026

Аз тақриз баргашт: 29.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 31.08.2026

УДК 544.7:546.185:614.842.611

ДИСПЕРСНАЯ ОСНОВА ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОТОРЫХ СОЛЕЙ ОРТОФОСФАТА

Сейед Мехран Амири, *Каримзода М.Б.

**Институт химии им. В.И.Никитина Национальной академии наук
Таджикистана**

***Таджикский национальный университет**

До недавнего времени в системах автоматического пожаротушения широко применялись инертные газы, порошковые составы и хладоны. Однако в связи с негативным воздействием хладонов на озоновый слой в 1994 г. было принято международное соглашение о поэтапном сокращении и последующем прекращении их производства и использования. Это обусловило необходимость поиска альтернативных огнетушащих средств, способных заменить традиционные хладоны [1-3].

Развитие современных производственной и транспортной инфраструктур характеризуется увеличением сложности их объектов, что вызывает трудность подачи огнетушащего вещества в место горения при тушении возникающих пожаров. Кроме того, интенсификация процессов за счет роста технологических параметров, в том числе за счет использования новых окислителей, топлив и т.п., предъявляет ряд специфических требований к огнетушащим составам, в том числе применяемым в автоматических установках пожаротушения. Все это приводит к необходимости постоянного совершенствования решений по обеспечению противопожарной защиты. Одним из направлений решения данной задачи является применение автоматических установок по тушению пожаров тонкораспыленной водой (ТРВ), для локального, локально-объемного и объемного пожаротушения.

Установки пожаротушения ТРВ объединили в себе достоинства газового и водяного пожаротушения. К основным их преимуществам можно отнести малый расход огнетушащего вещества, менее существенные затраты (поскольку вода значительно дешевле газа), отсутствие вреда здоровью людей [4–8].

При этом существуют разные способы технической реализации высокодисперсного (аэрозольного) распыла воды: с одной стороны, разрабатываются новые типы распылителей, конструктивные особенности которых позволяют значительно улучшить характеристики распыления, с другой стороны, проводятся разработки, основанные на возможности использования для этих целей комбинированных составов на основе воды и озоннезарушающих хладонов для установок объемного пожаротушения [6]. Исследования велись по трём направлениям: синтез озонобезопасных (озоннеразрушающих) хладонов, разработка комбинированных составов с пониженным содержанием хладонов и создание принципиально новых огнетушащих средств [1, 9].

Существенные успехи были достигнуты по третьему направлению. Совместными усилиями группы специалистов из ВНИИ Противопожарной обороны МВД СССР под руководством проф. А.Н. Баратова и ряда других организаций были созданы твердотопливные композиции, при сгорании которых выделяются газ аэрозольные составы, обладающие высокой огнетушащей эффективностью, а также соответствующие камеры сгорания для них — генераторы огнетушащего аэрозоля [1, 10-11].

При практическом применении созданных генераторов огнетушащего аэрозоля возникли вопросы, от решения которых зависела возможность реализации идеи газоаэрозольного пожаротушения. К их числу относились: возможность зажигания горючих предметов раскаленной струей, выходящей из сопла генератора в начальный период его работы, резкое снижение эффективности пожаротушения при наличии в защищаемом помещении открытых проемов, изменение эффективности подавления пожара в зависимости от степени загроможденности помещения технологическим или иным оборудованием. Необходимость решения перечисленных вопросов определила актуальность данной работы.

Данная работа относится к нетоксичному пиротехническому аэрозольобразующему методу гашения пожара в закрытых помещениях. Процесс реализации данного метода является полностью безопасным.

В состав огнетушащего вещества входят: гидрокарбонат калия (для регулировки температуры), хлорат калия (в качестве окислителя), активный микрокристаллический углерод (в качестве восстановителя), диглицерин эфир бифенола А и триэтилен тетрамина (в качестве связующих веществ), а также магниевый порошок (в качестве энерговыделяющего вещества).

Для высококачественного и безопасного производства огнетушителя, сперва уплотняется небольшой образец и после сушения с поверхности собирается тонкая пленка эпоксидной смолы. Впоследствии другая поверхность может быть покрыта тонким слоем эпоксидной смолы.

Тушение пожара химическим методом окисления и восстановления полностью отвечает требованиям экологии и считается очень эффективным и дешевым пиротехническим методом. Незначительное количество химического вещества достаточно для защиты помещения от пожара.

Это изобретение является плодом многолетних изысканий в области химических веществ пожаротушения. Посредством этого изобретения создается продольный профиль твердотопливного состава в форме создания порошка.

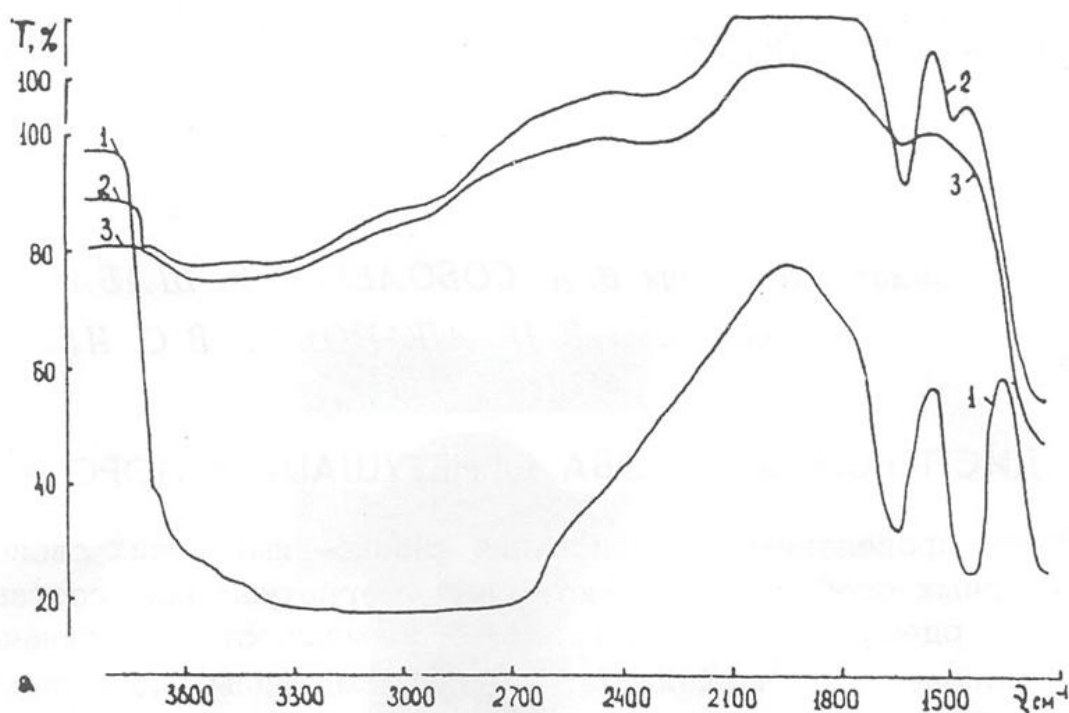
Данное изобретение демонстрирует метод производства нетоксичного дыма, способного в закрытом помещении предотвратить горение и потушить огонь. Твердотопливное вещество образует частицы, диаметром 1 микрон и меньше, в форме нетоксичного дыма, которые после прохождения стадии охлаждения, насаждают на огонь и гасят его.

Это исследование касается методов пожаротушения и связанных с ними систем, в особенности двух негалогенных методов огнетушения, являющимися очень эффективными в пиротехнической отрасли. Данная система гашения горения классифицируется, как объемные огнетушители, способные создавать нетоксичную дымовую завесу.

Обычно в объемных огнетушителях мы наблюдаем создание атмосферы, при котором невозможно горение огня в ограниченной среде. Или же мы можем наносить огнетушащее вещество прямо на огонь; что обычно применяется при использовании ручных огнетушителей.

В настоящей статье рассматриваются свойства двух типов минеральных сорбентов, которые могут быть использованы в качестве твердотельной матрицы. Одним из них являются аморфные ортофосфаты алюминия.

Ранее проведенные исследования физико-химических свойств и структурных особенностей некоторых огнетушащих составов позволили сделать некоторые выводы о возможности создания ОПС на основе минеральной твердотельной матрицы. Последняя, в зависимости от свойств используемого материала, может выполнять функции не только носителя огнетушащих компонентов, но и поглотителя ингредиентов горючего в газовой и конденсированной фазах, а также обеспечивать снижение температуры среды горения. Помимо этого, в поверхностном слое частиц дисперсных материалов вследствие высокой реакционной способности возможна прививка функциональных фрагментов, инкубирующих реакции горения.



Величина удельной поверхности полученных образцов, определенная по методу полимолекулярной адсорбции БЭТ из изотерм адсорбции метанола, составляет $290\text{--}340 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$, а суммарный объем пор $0,7\text{--}0,9 \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$. О наличии развитой пористой структуры свидетельствуют результаты исследования адсорбции паров воды, метанола и бензола при температуре 20°C . Присутствие гистерезиса на изотермах адсорбции- десорбции предполагает существование на поверхности адсорбента активных центров, способных удерживать значительное количество молекул адсорбата: $4,5$; $1,4$ и $0,55 \text{ ммоль} \cdot \text{г}^{-1}$ для воды, метанола и бензола соответственно.

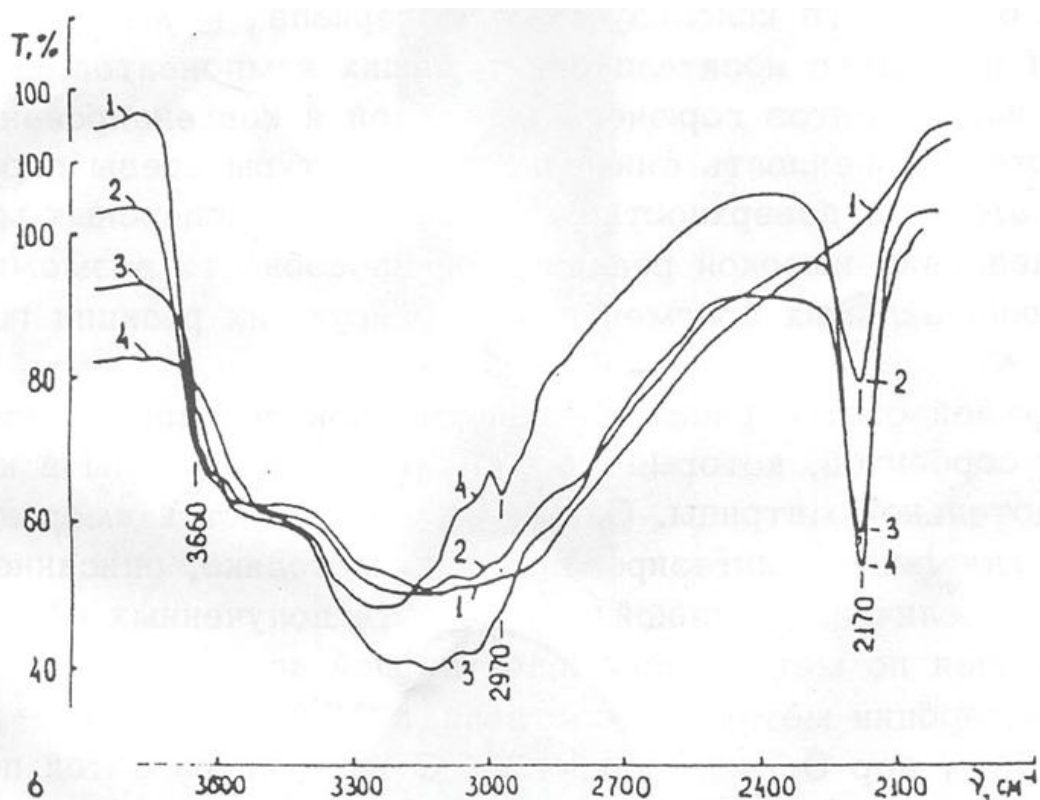
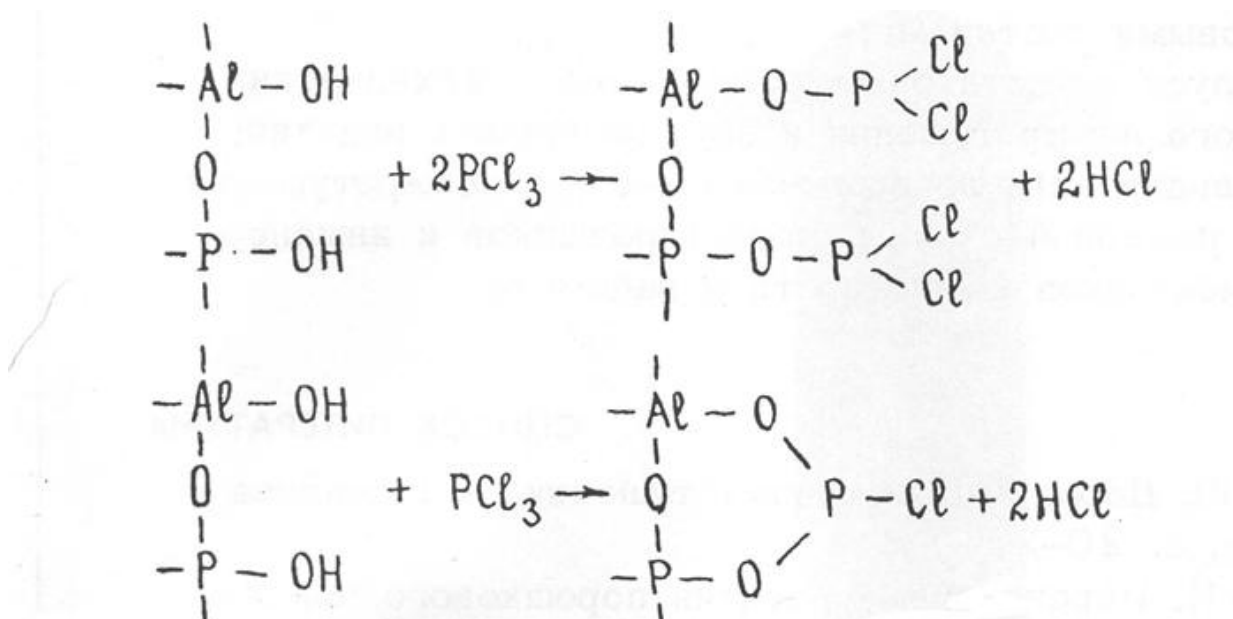


Рис. 1. ИК-спектры поглощения алюмофосфата:

а: 1 – исходный; 2 – вакуумированный при 523 К в течение 4 ч; 3 – после взаимодействия с PCl_3 при 573 К в течение 1 ч;

б: 1 – после дегидратации при 373 К в течение 4 ч; 2 – после взаимодействия с метилгидриддихлорсиланом при 373 К; 3 – то же, при 473 К; 4 – то же, при 573 К

Результаты исследования химических реакций поверхности алюмофосфата с трихлоридом фосфора PCl_3 и метилгидриддихлорсиланом $(\text{CH}_3)_2\text{HSiCl}_2$ свидетельствуют о наличии поверхностных гидроксильных групп, обладающих высокой реакционной способностью. Как следует из рис. 1(а), взаимодействие структурных групп – OH с молекулами PCl_3 сопровождается исчезновением полосы при 3660 см^{-1} в ИК-спектрах поглощения. Химические реакции протекают по схеме:



Таким образом, перспективность применения ортофосфата алюминия в качестве основы огнетушащего порошкового состава обусловлена:

- во-первых, высокой пористостью, определяющей его способность к поглощению горючей жидкости в конденсированной фазе, а также свойства твердотельного носителя огнетушащих компонентов, вводимых в пористую структуру путем жидкофазного синтеза;

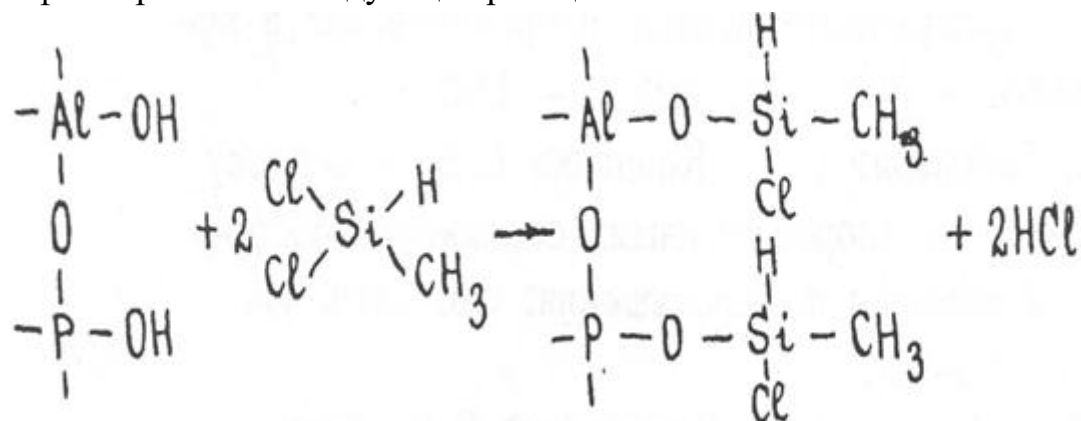
- во-вторых, высокой реакционной способностью поверхности ортофосфата, обеспечивающей создание на активной поверхности частиц ингибирующих фрагментов и связывание молекул горючей жидкости из газовой фазы;

- в-третьих, наличием ряда эндотермических эффектов, благодаря которым описанный ортофосфат вносит определенный вклад в охлаждение зоны горения.

Немаловажно также то обстоятельство, что аморфные алюмофосфаты характеризуются несколькими эндотермическими эффектами, определяющими поглощение теплоты при нагревании. Действительно, на кривой ДТА обнаруживается широкий эндотермический эффект с явно выраженным максимумом при 100°C и несколькими скрытыми при 165, 225, 255 и 305°C. Низкотемпературные эффекты обусловлены удалением гидратной и адсорбированной воды, более высокотемпературные эффекты связаны с удалением прочносвязанной воды. Потеря массы при 500°C составляет 52%.

Идентификация спектров поглощения PCl_3 , проведенная в соответствии с данными работы [12], подтверждает предложенный выше механизм взаимодействия компонентов.

Аналогичным образом, с участием структурных гидроксильных групп протекает взаимодействие поверхности алюмофосфата с молекулами $(\text{CH}_3)_2\text{HSiCl}_2$. В ИК-спектрах поглощения (рис. 1,б) при этом наблюдается уменьшение интенсивности поглощения групп – OH (полоса при 3660 см^{-1}) и появление полос поглощения при 2170 и 2970 см^{-1} , которые, согласно работе [12], относятся к валентным колебаниям соответственно связей Si-H и C-H молекул гидридсилана. В процессе хемосорбции силана поверхностью алюмофосфата протекают следующие реакции:



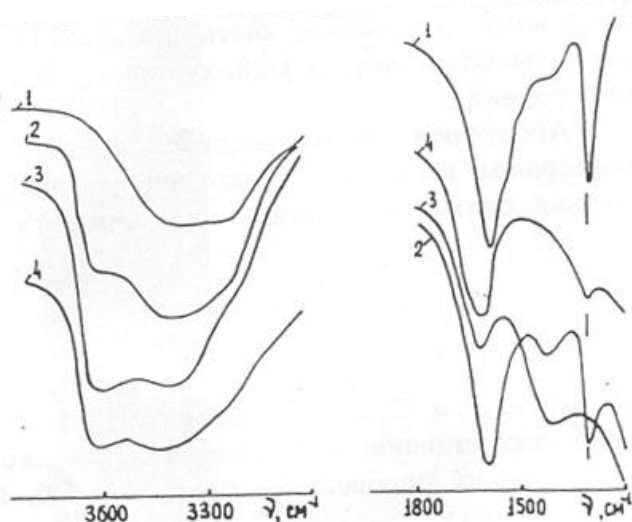
В качестве минеральной матрицы ОПС могут использоваться цеолиты, основной особенностью структуры которых является система внутрикристаллических пор и полостей, где легко осуществляется поглощение и высвобождение небольших молекул. В соответствующих условиях свободный объем внутри алюмосиликатного каркаса заполняется различными газообразными и конденсированными соединениями, которые могут быть выделены частично или полностью при нагревании.

Установленная авторами реакционная способность алюмофосфата может быть использована в целях создания на поверхности его частиц фрагментов, ингибирующих реакции горения как в гетерогенной, так и в гомогенной фазах. Доказательством этого является процесс хемосорбции молекул трихлорида фосфора, который может применяться в качестве ингибирующей добавки.

Объектом исследований в настоящей работе были природные цеолитсодержащие минералы - клиноптилолитовая и морденитовая формы. В качестве ингибирующей соли использован оксалат калия, известный своими огнетушащими свойствами. Насыщение структуры цеолита оксалатом калия осуществлялось абсорбционным путем.

Рис. 2. ИК-спектры поглощения:

1 – оксалат калия; 2 – механическая смесь оксалата калия и клиноптилолита (1:1); 3 – клиноптилолит; 4 – клиноптилолит, обработанный раствором оксалата калия



Наличие в ИК- спектре поглощения клиноптилолита (рис. 2), обработанного оксалатом калия, полосы у 1300 см⁻¹ свидетельствует о протекании процесса абсорбции используемой соли. Интересны результаты термического анализа: положение и формы пиков, характеризующих разложение оксалата калия, существенно изменяются при введении соли в структуру цеолита. Температура начала разложения оксалата калия, абсорбированного цеолитом, понижается примерно на 180°С. Это может быть объяснено значительным влиянием структуры цеолита на природу связей в молекулах абсорбированной соли, что в ряде случаев приводит даже к их ионизации. Коэффициент рекомбинации атомов кислорода таким составом при 100°С имеет довольно высокое значение ($7,76 \cdot 10^{-3}$), при комнатной температуре он составляет $2,71 \cdot 10^{-3}$. Очевидно, что эффективность процесса рекомбинации атомов кислорода зависит от состояния поверхности частиц порошка, в частности цеолитовой основы, поскольку коэффициент рекомбинации атомов кислорода собственно оксалатом калия равен $1,0 \cdot 10^{-3}$. По-видимому, при абсорбции $K_2C_2O_4$ цеолитом изменяется механизм гетерогенной рекомбинации.

Литература

1. *Корольченко Д.А.* Тушение пожаров аэрозольными составами. Автореферат диссер. на соискание канд.технич.наук. М., 1998 г., с.3
2. *Шумяцкий О.В., Корольченко Д.А.* Огнетушители СОТ. — Пожаровзрывобезопасность, 1994, т.3, №1, с.54-56.
3. *Логинов С.В., Корольченко Д.А.* Использование генераторов огнетушащего аэрозоля СОТ в практике пожаротушения. — Пожаровзрывобезопасность, 1995, т.4, №4, с.79-83.
4. *Богданов П.Н., Дементьев Ф.А.* Перспективы создания комбинированных огнетушащих составов на основе воды и

озононеразрушающих хладонов. Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, 2012, с. 147-150.

5. Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара / *Н.П. Капылов, А.Л. Чибисов, А.Л. Душкин* [и др.] // Пожарная безопасность. 2008. № 4. С. 45–58.
6. *Дауэнгауэр С.А.* Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизмы, особенности, перспективы // Пожаровзрывобезопасность. 2004. Т. 13. № 6. С. 78–81.
7. *Цариченко С.Г.* Современные средства водопенного пожаротушения // Пожарная безопасность. Спец. каталог: Компания «Гротек». 2008. № 1 (9). С. 52–56.
8. *Гергель В.И.* Пожаротушение тонкораспыленной водой: современное состояние дел и перспективы развития // Противопожарные и аварийно-спасательные средства. 2007. С. 10–15.
9. *Gorshkov V.I., Korolchenko D.A., Shebeko Yu.N., Navzenya V.Yu., Kostyuhin A.K.* The peculiarities of application of gas—aerosol fire extinguishing tools in various rooms. — 2th Int. Seminar Fire-and-Explosion Hazard of Substances and Venting of Deflagrations. Book of Abstracts. - М., 1997, p.160-161.
10. *Баратов А.Н.* Новые средства пожаротушения. // Журнал ВХО им. Д.И.Менделеева, 1976, т. 21, №4, с.369-379.
11. *Баратов А.Н., Вогман Л.П., Кобзарь В.Н.* Ингибирование пламени метана взвесями солей. // Физика горения и взрыва, 1976, т. 12, №1, с.72-75.
12. Спектроскопическое изучение механизма ингибирования диэтиламино и галоидсодержащими соединениями процесса горения ацетилено-воздушного пламени / *Нестерко Н.А., Таран Э.Н.* / Физика горения и взрыва, 1978, т.5, с. 96-108.

ДИСПЕРСНАЯ ОСНОВА ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОТОРЫХ СОЛЕЙ ОРТОФОСФАТА

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются свойства двух типов минеральных сорбентов, которые могут быть использованы в качестве твердотельной матрицы. Одним из них являются аморфные ортофосфаты алюминия.

Данная работа относится к нетоксичному пиротехническому аэрозольобразующему методу гашения пожара в закрытых помещениях. Процесс реализации данного метода является полностью безопасным.

В состав огнетушащего вещества входят: гидрокарбонат калия (для регулировки температуры), хлорат калия (в качестве окислителя), активный микрокристаллический углерод (в качестве восстановителя), диглицерин эфир бифенола А и триэтилен тетрамина (в качестве связующих веществ), а также магниевый порошок (в качестве энерговы-деляющего вещества).

Ключевые слова: аэрозоль, пиротехника, гидрокарбонат калия, хлорат калия, активный микрокристаллический углерод, триэтилен тетрамина.

ПОЙГОҲИ ДИСПЕРСИИ ХОКАҲОИ ОТАШХОМЌШКУНӢ БО ИСТИФОДА АЗ БАЪЗЕ НАМАҚҲОИ ОРТОФОСФАТ

Ғишурда. Дар ин мақола хосиятҳои ду намуди сорбентҳои минералӣ, ки метавонанд ҳамчун матритсаи сахт истифода шаванд, баррасӣ карда мешаванд. Яке аз онҳо ортофосфатҳои аморфии алюминий мебошад.

Ин кор ба усули ғайритоксикии пиротехникии аэрозоли барои хомӯш кардани сӯхтор дар биноҳои пӯшида дахл дорад. Раванди татбиқи ин усул комилан беҳатар аст.

Ба таркиби моддаи оташгиранда дохил мешаванд: гидрокарбонати калий (барои танзими ҳарорат), хлорати калий (ба сифати оксидкунанда), карбони ғаёли микрокристалӣ (ба сифати барқароркунанда), эфири диглисирини бифенол А ва триэтилентетрамин (ба сифати моддаҳои пайвасткунанда), инчунин хокаи магний (ба сифати моддаҳои тақсимкунандаи энергия).

Калидвожаҳо: аэрозол, пиротехника, гидрокарбонати калий, хлорати калий, карбони микрокристалии ғаёл, триэтилентетрамин.

DISPERSED BASIS OF EXTINGUISHING POWDERS USING SOME ORTHOPHOSPHATE SALTS

Annotation. This article discusses the properties of two types of mineral sorbents that can be used as solid matrices. One of these is amorphous aluminum orthophosphate.

This work focuses on a non-toxic pyrotechnic aerosol-generating method for extinguishing fires in enclosed spaces. This method is completely safe to use.

The fire extinguishing agent contains the following components: potassium hydrocarbonate (for temperature control), potassium chlorate (as an oxidant), active microcrystalline carbon (as a reducing agent), diglycerin ether of bisphenol A and triethylene tetramine (as binders), and magnesium powder (as an energy-releasing agent).

Keywords: aerosol, pyrotechnics, potassium hydrocarbonate, potassium chlorate, active microcrystalline carbon, triethylene tetramine.—

Сведения об авторе: Сейед Мехран Амири – Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана. Адрес: Исламская Республика Ирана, г. Тегеран, ул. Пасдаран, Голестан Пянджом, ул. Фарид, дом 5. E-mail: usa.mehran@yahoo.com

Каримзода М.Б. – д.х.н., Профессор Таджикского национального университета. Адрес: Республика Таджикистан, г.Душанбе, пр.Рудаки, 17. Тел.:919-41-02-41. E-mail: karimov.mb@bk.ru.

Маълумот дар бораи муаллиф: Сейед Меҳрон Амирӣ, Институти химияи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон. Суроға: Ҷумҳурии Исломии Эрон, шаҳри Техрон, кӯчаи Пасдаран, Голестан Пянҷум, кӯчаи Фарид, хонаи 5. E-mail: usa.mehran@yahoo.com

Каримзода М.Б. – д.и.х., профессор, Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Тел.: 919410241. E-mail: karimov.mb@bk.ru.

Author Information: Seyed Mehran Amiri, V.I. Nikitin Institute of Chemistry, National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Address: Islamic Republic of Iran, Tehran, Pasdaran Street, Golestan 5, Farid Street, House 5. E-mail: usa.mehran@yahoo.com

Karimzoda M.B. – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Tajik National University. Address: Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Ave., 17. Tel.: 919-41-02-41. E-mail: karimov.mb@bk.ru.

Мақола ба редакция ворид шуд: 09.06.2026

Аз тақриз баргашт: 27.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 28.08.2026

УДК 669.45.018.8.24/882

МИКРОСТРУКТУРА ЦИНКОВОГО СПЛАВА $ZnAl_{1.0}Ni_{0.5}$ С НАТРИЕМ

Муродализода У.М., *Ганиев И.Н., *Окилов Ш.Ш.,

Холов Ё.Дж., **Алиева Л.З.

Дангаринский государственный университет

***Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана**

****Международный университет туризма и предпринимательства
Таджикистана**

Введение

Цинк и его сплавы широко применяются в промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости, механической прочности и хорошей обрабатываемости. Цинк используется как самостоятельный материал и как основной компонент сплавов, обеспечивающих улучшенные эксплуатационные свойства. В металлургической отрасли цинк применяется для гальванического покрытия стали и других металлов с целью защиты от коррозии. Цинкование изделий позволяет значительно увеличивать срок их службы, что особенно важно для строительных конструкций и транспортного оборудования. В автомобильной промышленности цинковые сплавы используют для изготовления деталей кузова, декоративных элементов, замков и крепежа.

Высокая точность литья и возможность создавать сложные формы делают их незаменимыми для массового производства компонентов. Электротехническая отрасль также активно использует цинк и его сплавы. Они применяются при изготовлении корпусов электрооборудования, контактов, разъемов и крепежных элементов. Устойчивость к коррозии и хорошие электрические свойства делают цинковые сплавы надежными в эксплуатации [1-528с.].

Цинк широко используется для защиты металлов, прежде всего стали и железа, от коррозии. Благодаря своей высокой электрохимической активности цинк выполняет функцию «жертвенного анода» — при контакте с железом он корродирует первым, защищая основной металл. Это делает цинк особенно ценным для промышленных изделий, эксплуатируемых в агрессивных средах. Существует несколько технологий нанесения цинковых покрытий. Горячее цинкование предполагает погружение изделия в расплавленный цинк, создавая толстый и долговечный слой. Для тонких деталей, крепежа и электроники используют гальваническое (электролитическое) цинкование, когда слой цинка наносится с помощью электрического тока [2-383с.].

Дополнительно покрытия могут проходить пассивирование, что повышает их стойкость к коррозии. Цинковые покрытия применяются в различных отраслях промышленности. В строительстве — для кровли, ограждений и водосточных систем, в машиностроении и автомобильной промышленности — для крепежа, деталей кузова и каркасов. В энергетике и химической промышленности цинк защищает металлические конструкции, резервуары и трубопроводы, контактирующие с водой и агрессивными средами, обеспечивая долговечность и надежность оборудования [3-383с.].

Цель работы состоит в проведении анализа микроструктуры цинкового сплава $ZnAl_{1.0}Ni_{0.5}$ с натрием с целью выявления закономерностей распределения фаз и оценки потенциала применения сплава.

Материалы и методики исследования

Для получения цинкового сплава $ZnAl_{1.0}Ni_{0.5}$ с добавкой натрия использовались металлические цинк, алюминий и никель высокой чистоты. Легирование сплава осуществляли с использованием металлического натрия марки ЧДА по ГОСТ 10643-75.

Процесс плавки проводился в шахтной лабораторной печи типа СШОЛ при температуре 650–700 °С. Из полученного расплава методом литья в графитовую изложницу изготавливались цилиндрические образцы для микроструктурного анализа. Диаметр образцов составлял 16 мм, а длина — 10 мм (см. рис. 1). После литья образцы охлаждались при комнатной температуре до стабилизации структуры.



Рис. 1. Образцы из цинкового сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ с натрием для исследования микроструктуры

Цинкового сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ с натрием широко применяются в промышленности и технике благодаря высокой коррозионной стойкости, механической прочности и хорошей обрабатываемости. Изучение их микроструктуры позволяет понять закономерности формирования фаз, распределения легирующих элементов и влияние этих факторов на эксплуатационные свойства сплава. Цель настоящего исследования заключается в комплексном изучении микроструктуры цинкового сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ с натрием в лабораторных условиях. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации состава сплавов, улучшения их технических характеристик и расширения области применения в инженерной практике. Микроструктура цинкового сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ с натрием исследовалась с использованием светового микроскопа КР-L3230-2К. Исследования выполнялись согласно методикам, описанным в работах [4-8стр; 5-9стр; 6-10стр].

Для исследования микроструктуры исследуемых образцов из полученного расплава отливались цилиндрические образцы диаметром 10-16 мм и длиной 5-10 мм. Каждый образец предварительно отшлифовывали, обезжиривали спиртом и погружали в 5%-ном кислоты (HNO_3). Время травления составляло от 10 до 20 с. После травления микрошлиф промывали в проточной воде и тщательно высушивали прижатием к чистой фильтровальной бумаге.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

В ходе эксперимента были получены образцы цинкового сплава $ZnAl1.0Ni0.5$ с добавкой натрия методом плавки в шахтной лабораторной печи и последующего литья в графитовую изложницу. Микроскопическое

исследование показало, что структура сплава имеет двухфазный характер. Основной матрикс состоял из цинкового раствора с алюминием, в котором равномерно распределялись частицы фаз NiZn и интерметаллических соединений. Добавка натрия способствовала образованию мелкодисперсных включений и улучшению равномерности распределения фаз, что положительно влияет на механические свойства сплава (рис. 2).

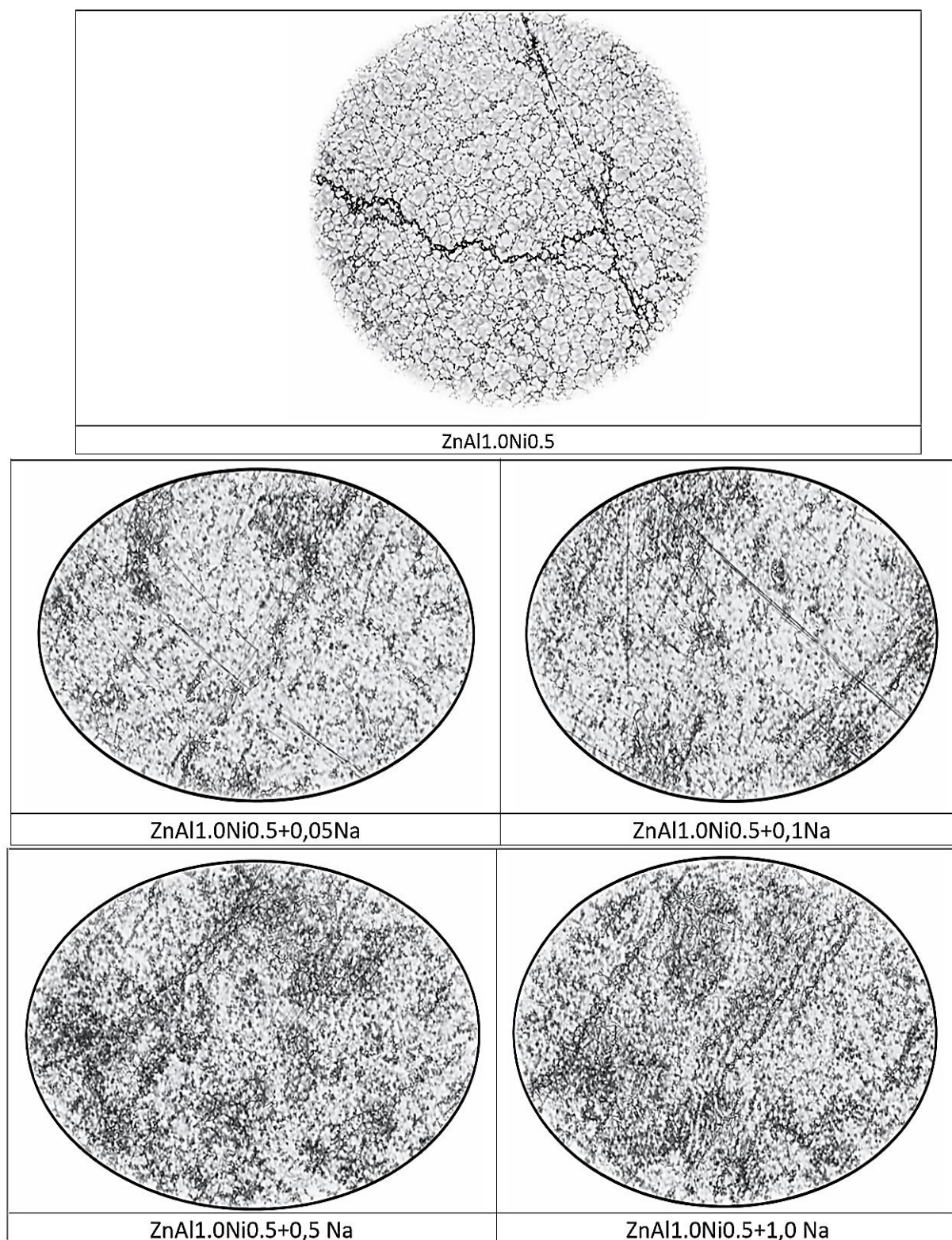


Рис. 2. Микроструктуры (x200) цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5 с натрием

Установлено, что добавки до 1,0 мас.% натрия как модификаторы структуры значительно измельчают микроструктуру исходного сплава ZnAl1.0Ni0.5 и она становится однородной и мелкозернистой.

Литература

1. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение: учебник для втузов / *Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева.* - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
2. Материаловедение: учебник для студ. высших техн. учеб. заведений / [Б. Н. Арзамасов и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - 383 с.
3. *Травин, О. В.* Материаловедение: учебник для втузов / *О. В. Травин, Н. Т. Травина.* - М.: Металлургия, 1989. - 383 с.
4. *Курбонов Д.Ч., Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш., Ходжаназаров Х.М* / Микроструктура и механические свойства алюминиевого проводникового сплава ALV0,1 легированного литием // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. 2024. № 2-4-2 (129). С. 118-125.
5. *Рахмонзода М.Ф., Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш* / Влияние галлия на микроструктуру алюминиевого проводникового сплава ALV0.1//Вестник Дангаринского государственного университета. 2025. № 3 (33). С. 104-112.
6. *Окилов Ш.Ш., Ходжаназаров Х.М., Ганиев И.Н., Саидов С.С* / Влияние добавок лития, натрия и калия на микроструктуру и механические свойства свинцово-сурьмяного сплава ССУ3//Вестник Саратовского государственного технического университета. 2024. № 4 (103). С. 87-97.

МИКРОСТРУКТУРА ЦИНКОВОГО СПЛАВА ZnAl1.0Ni0.5 С НАТРИЕМ

Аннотация: В работе представлены результаты исследования микроструктуры цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5, модифицированного натрием. Установлено, что с увеличением концентрации натрия структура сплава заметно измельчается, становится более однородной и мелкозернистой. Показано, что введение натрия оказывает существенное влияние на процессы кристаллизации, способствует формированию интерметаллических фаз и изменяет зеренной структуры сплава.

Анализ полученных результатов позволил выявить закономерности образования эвтектических структур и определить их влияние на механические характеристики материала.

Ключевые слова: цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5, натрий, микроструктура.

THE MICROSTRUCTURE OF ZINC ALLOY ZnAl1.0Ni0.5 WITH SODIUM

Annotation. The paper presents the results of a study of the microstructure of zinc alloy ZnAl1.0Ni0.5 modified with sodium. It has been found that with increasing sodium concentration, the alloy structure is noticeably crushed, becomes more homogeneous and fine-grained. It is shown that the introduction of sodium has a significant effect on the crystallization processes, promotes the formation of intermetallic phases and changes the grain structure of the alloy.

The analysis of the obtained results made it possible to identify the patterns of formation of eutectic structures and determine their effect on the mechanical characteristics of the material.

Keywords: zinc alloy ZnAl1.0Ni0.5, sodium, microstructure.

МИКРОСТРУКТУРАИ ХЎЛАИ РҶҲ ZnAl1.0Ni0.5 БО НАТРИЙ

Фиишурда. Дар кор натиҷаҳои таҳқиқи микроструктураи хӯлаи рӯҳ ZnAl1.0Ni0.5, ки бо натрий илова карда шудааст, оварда шудааст. Муайян карда шудааст, ки бо зиёд шудани концентратсияи натрий сохтори хӯлаи он ба таври назаррас майда карда мешавад, яхела ва донаҳои хурд мешавад. Нишон дода шудааст, ки ворид кардани натрий ба равандҳои кристаллизатсия таъсири назаррас мерасонад, ба ташаккули фазаҳои интерметаллӣ мусоидат мекунад ва сохтори донаҳои хӯларо тағир медиҳад.

Таҳлили натиҷаҳои бадастомада имкон дод, ки қонуниятҳои ташаккули сохторҳои эвтектикӣ ошкор карда шаванд ва таъсири онҳо ба хусусиятҳои механикии мавод муайян карда шавад.

Калимаҳои асосӣ: Хӯлаи рӯҳ ZnAl1.0Ni0.5, натрий, микроструктура.

Маълумотнома дар бораи муаллифон: Муродализода Умед Муродалӣ – муаллими калони кафедраи муҳандисӣ ва энергетикаи Донишгоҳи давлатии Данғара. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара. **Тел:** (+992)900446087. **E-mail:** umedmm.87@mail.com

Ғаниев Изатулло Наврӯзович – д.и.к., профессор, академики Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, мудири озмоишгоҳи «Маводҳои ба зангзанӣ тобовар»-и Муассисаи давлатии илмӣ Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ. **E-mail:** ganiev48@mail.ru

Оқилов Шаҳром Шукурбоевич – н.и.т., ходими калони илмӣ Институти химияи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **E-mail:** Okilov70070@mail.ru

Холов Ёрмаҳмад Қомаҳмадович – н.и.т., муаллими калони кафедраи муҳандисӣ ва энергетикаи Донишгоҳи давлатии Данғара. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара. Е-mail: kholov250785@mail.ru.

Алиева Лола Зухурбековна – н.и.т., мутахассиси соҳаи материалшиносии Пажӯишгоҳи илмӣ-тадқиқотии рушди устувор ва иқтисоди сабзи Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон. Суроға: 734055, ш. Душанбе, кӯчаи Борбад 48/5. Телефон: (+992)988536315. Е-mail: lolaalieva101195@mail.ru

Сведения об авторах: Муродализода Умед Муродали – старший преподаватель кафедры инженерии и энергетики Дангаринского государственного университета. Адрес: Республика Таджикистан, Дангара. Тел.: (+992)900446087. Е-mail: umedmm.87@mail.com

Ганиев Изатулло Наврузович – д.х.н., профессор, академик Национальной академии наук Таджикистана, заведующий лабораторией Коррозионностойке материалы ГНУ Институт химии им. В.И. Никитина НАНТ. Е-mail: ganiev48@mail.ru

Окилов Шахром Шукурбоевич – к.т.н., старший научный сотрудник Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана. Е-mail: Okilov70070@mail.ru

Холов Ёрмаҳмад Ҷонмаҳмадович – к.т.н., старший преподаватель кафедры инженерии и энергетики Дангаринского государственного университета. Адрес: Республика Таджикистан, Дангара. Е-mail: kholov250785@mail.ru.

Алиева Лола Зухурбековна – к.т.н., специалист в области материаловедения Научно-исследовательского института устойчивого развития и зеленой экономики Международного университета туризма и предпринимательства Таджикистана. Адрес: 734055, Душанбе, ул. Борбад 48/5. Тел: (+ 992) 988 53 63 15 Е-mail: lolaalieva101195@mail.ru.

Information about the Authors: Murodalizoda Umed Muradali – Senior Lecturer at the Department of Engineering and Energy, Danghara State University. Address: Danghara, Republic of Tajikistan. Tel.: (+992) 900 44 60 87. Е-mail: umedmm.87@mail.com

Ganiev Izatullo Navruzovich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Head of the Laboratory of Corrosion-Resistant Materials at the State Scientific Institution **V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan**. Е-mail: ganiev48@mail.ru

Okilov Shakhrom Shukurboevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow at the **V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan**. Е-mail: Okilov70070@mail.ru

Kholov Yormakhmad Jomakhmadovich – Candidate of Sciences, Senior Lecturer at the Department of Engineering and Energy, Danghara State University. Address: Danghara, Republic of Tajikistan. Е-mail: kholov250785@mail.ru

Alieva Lola Zukhurbekovna – Candidate of Technical Sciences (Ph.D. in Engineering), Head of Department and Specialist in Materials Science at the Research Institute for Sustainable Development and Green Economy of the International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan. Address: 48/5 Borbad Street, Dushanbe 734055, Republic of Tajikistan. Tel.: (+992) 988 53 63 15. Е-mail: lolaalieva101195@mail.ru

Мақола ба редакция ворид шуд: 11.06.2026

Аз тақриз баргашт: 28.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 31.08.2026

МАЪЛУМОТ БАРОИ МУАЛЛИФОН

Талабот нисбат ба мақолаҳои илмие, ки ба маҷаллаи илмӣ «Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара» пешниҳод мешаванд.

Мақолаҳои илмие, ки ба редакцияи маҷалла пешниҳод мешаванд, бояд ба талаботи зерин ҷавобгӯ бошанд:

- Мақолаҳо бояд бо риояи талаботи муқаррарнамудаи ҳайати таҳририяи маҷалла навишта шаванд;
- Мақолаҳо бояд натиҷаи таҳқиқоти илмиро дар ин ё он соҳа фаро гиранд;
- Мақолаҳо бояд ба яке аз самтҳои (бахшҳои) маҷалла мувофиқ бошанд;

Ҳама маводҳое, ки ба ҳайати таҳририяи маҷалла пешниҳод мешаванд, аз барномаи зиддисирқат дар вебсайти **Antiplagiat** тафтиш мешаванд ва пас аз он ҳайати таҳририя муаллифнро (ҳаммуаллифнро) аз натиҷаи баҳодиҳии дастнавис огоҳмекунад. Сониян, ҳайати таҳририя дар бораи қабули мавод ва коркарди минбаъда ва ё аз радшудани он муаллифнро (ҳаммуаллифнро) хабардор менамояд.

Талабот оид ба сохтори мақолаҳои илмӣ

Мақола бояд дар формати Microsoft Word, шрифти Times New Roman, андозаи 14, ҳошия аз ҳар тараф 2,5 см, фосилаи байни сатрҳо 1,5 мм таҳия карда шавад. Ҳаҷми мақола (бо дарбаргирии фишурда ва феҳрасти манобеи истифодашудаи он) бояд аз 6 то 15 саҳифаро дар формати A4 фаро гирад.

Сохтори мақола

- индекси УДК;
- унвони мақола бо ҳарфҳои калон;
- насаб ва ҳарфҳои аввали номи муаллиф (масалан, Шарипов Д.М.);
- номи ташкилоте, ки дар он муаллифи мақола кор мекунад;
- матни асосии мақола;
- истинод аз маводи мушаххас дар қавси мураббаъ [4, с.25] оварда мешавад;
- ҷадвалҳо, диаграммаҳо, схемаҳо ва расмҳо бояд ном дошта, рақамгузорӣ карда шаванд;
- номгӯии манобеи истифодашуда (на камтар аз 5 ва на зиёда аз 10 ададро дар бар гирад);
- феҳрасти манобеи истифодашуда мувофиқи талаботи ГОСТ 7.1-2003 ва ГОСТ 7.0.5-2008 тартиб дода мешавад;
- манобеи истифодашуда тадқиқоти анҷомдодаи солҳои охири муҳаққиқони соҳаро дарбар гирад;
- пас аз феҳрасти манобеи истифодашуда бо сезабон (точикӣ, русӣ ва англисӣ) маълумоти зерин оварда мешавад: унвони мақола, фишурдаи он ва калидвожаҳо (фишурда на камтар аз 100 калима, калидвожаҳо аз 7 то 10 калима ё ибораҳо);
- маълумот дар бораи муаллиф (он) ба забонҳои тоҷикӣ, русӣ ва англисӣ (ба чунин тартиб: ному насаби пурраи муаллиф (он), дараҷаи илмӣ, унвони илмӣ (агар бошад), номи ташкилоте, ки муаллиф (он) дар он кор мекунад, вазифаи муаллиф (он) дар ин ташкилот, рақами телефон, суроғаи электронии муаллиф (он);
- муаллифнро барои саҳеҳӣ, эътимодноки ва муҳтавои илмӣ мақолаҳо масъулияти пурра доранд.

Тақриз ба мақолаи илмӣ пешниҳодшуда аз ҷониби номзад ё доктори илм барои муаллиф (он)-е, ки дараҷаи илмӣ надорад ҳатмӣ мебошад.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Требования к научным статьям, подаваемым в научный журнал «Вестник Дангаринского государственного университета».

Научные статьи, подаваемые в редакцию журнала, должны соответствовать следующим требованиям:

- Статьи должны быть написаны с соблюдением требований, установленных редколлегией журнала;
- Статьи должны включать результаты научных исследований в той или иной области;
- Статьи должны соответствовать одному из направлений (разделов) журнала;

Все материалы, поступившие в редакцию журнала, будут проверены программой антиплагиат на сайте **Antiplagiat**, после чего редакция уведомит авторов (соавторов) о результатах оценки рукописи. Во-вторых, редакция информирует авторов (соавторов) о принятии материала и дальнейшей обработке или отклонении.

Требования к структуре научных статей

Статья должна быть написана в формате Microsoft Word, шрифт Times New Roman, размер кегл 14, поля 2,5 см, межстрочный интервал 1,5 мм. Объем статьи (включая аннотацию и список использованных источников) должен занимать от 6 до 15 страниц формата А4.

Структура статьи

- индекс УДК;
- название статьи заглавными буквами;
- фамилия и инициалы имени автора (например, Шарипов Д.М.);
- название организации, в которой работает автор статьи;
- основной текст статьи;
- ссылка на конкретные материалы дается в квадратных скобках [4, с.25];
- таблицы, схемы, диаграммы и рисунки должны быть названы и пронумерованы;
- список использованных источников (включать не менее 5 и не более 10 наименований);
- Перечень используемых ресурсов составляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 и ГОСТ 7.0.5-2008;
- Используемые источники должны включать исследования, проведенные исследователями за последние годы.
- После списка использованных источников на трех языках (таджикском, русском и английском) указывается следующая информация: название статьи, ее краткое содержание и ключевые слова (резюме не менее 100 слов, ключевые слова от 7 до 10 слов или фраз);
- Сведения об авторе(ах) на таджикском, русском и английском языках в следующем порядке: полное имя автора(ов), ученая степень, звание (при наличии), наименование организации, где работает автор(ы), номер телефона, адрес электронной почты.
- Авторы несут полную ответственность за достоверность, научную обоснованность и содержание статей.

За предоставленную научную статью со стороны авторов, которые не имеют ученой степени, рецензия от кандидатов или докторов наук обязательна.

МУНДАРИҶА

МАТЕМАТИКА

Шарофиддин Юсуфӣ, Восидов Ш.Ю., Умаров А.Н. Моделсозии математикии компютерӣ дар раванди ҳалли системаи муодилаҳои нишондиҳандагӣ.....	5
Каримов А.Ғ. Ҳалли муодилаҳои дифференсиалии тартиби як ва тартиби ду бо усули аналитикӣ ва рақамӣ дар муҳити visual basic 6.0.....	16
Қўразода Х. Ш., Салмони Абдурахим, Умаров А.Н. Таҳқиқи самаранокии комплекси барномавӣ Ҳангоми гузаронидани ҳисобҳои тақсимои ҳарорати ғайристационарӣ дар муҳити конденсӣ.....	26

ФИЗИКА

Олимӣ А.Р., Набиев Қ.Ғ. Таҳқиқ ва омӯзиши лапишҳои рақосаки пружинӣ тавассути моделронии компютерӣ дар физика.....	35
Қумъаев С.С., Сафаров М.М. Таъсири нанонайчаҳои карбонӣ ба тағйирёбии гаримиғунҷоиши ҳоси хладагентҳо вобаста ба ҳарорат ва фишор.....	45
Ғоибов А.Ғ., Ваҳобов Қ.И. Ҳимматқулов О., Исломов Б.Ҳ., Шаймов Э.Қ., Ақобирова А.Т. Таҳқиқи таъсири майдонҳои электрикӣ ва ултрасадоӣ ба хусусиятҳои электрофизикии детекторҳои диффузиони Si-p-n.....	57
Зарифзода М.А., Файзова М.А. Таҳлил ва коркарди натиҷаҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронии наноселлюлозаҳои кристаллӣ ва фибриллярӣ.....	68
Комилӣ А. Ш., Давлатқадамова З. Ш. Афтиши озоди ҷисмҳо аз арасту то галилей: пайдоиши қонуни кинематикӣ ва баҳс перомуни асосҳои таҷрибавии он.....	81
Муҳаббатова Х. Қ., Алишерӣ Зукӯрӣ. Асосҳои физикавӣю химиявӣю технологияи маводҳои оташбардор.....	96

ХИМИЯ

Қурабеков У.М., Азизқулова О.А., Ҳамидова Ф.Р., Абдулҳаева М.И. Таҳқиқи спектрҳои фуруҷабрии инфрасурхи пайвастаҳои координатсионии 1,2,4-триазолтиоли молибден(V)	109
Маматов Э.Д., Ҳисайнов Т.Х., Валиев Ю.Я. Коркарди маъданҳои фосфорити донашакли Тоҷикистон.....	122
Муродализода У.М., Ғаниев И.Н., Оқилов Ш.Ш., Холов Ё.Қ., Алиева Л.З. Омӯзиши микроструктураи ҳулаи руҳ $ZnAl_{1.0}Ni_{0.5}$ бо литий.....	130
Амирӣ С. М., Каримзода М.Б. Пойгоҳи дисперсии хоқаҳои оташхомӯшкунӣ бо истифода аз баъзе намакҳои ортофосфат.....	137
Муродализода У.М., Ғаниев И.Н., Оқилов Ш.Ш., Холов Ё.Д.Қ., Алиева Л.З. Микроструктураи ҳулаи руҳ $ZnAl_{1.0}Ni_{0.5}$ бо натрий.....	147

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Шарофиддин Юсуфи, Восидов Ш.Ю., Умаров А.Н. Компьютерное математическое моделирование при решении системы показательных уравнений.....	5
Каримов А.Г. решение дифференциальных уравнений первого и второго порядка аналитическим и численным методами в среде visual basic 6.0.....	16
Джуразода Х.Ш., Салмони Абдурахим, Умаров А.Н. Исследование эффективности программного комплекса для расчета нестационарного распределения температуры в конденсирующей среде.....	26

ФИЗИКА

Олими А.Р., Набиев Ч.Г. Исследование и изучение колебаний пружинного маятника посредством компьютерного моделирования в физике.....	35
Джумаев С.С., Сафаров М.М. Влияние ОУНТ на изменение теплоемкости хладагентов при различных температурах и давлениях.....	45
Гаибов А.Г., Вахабов К.И., Химматкулов О., Исламов Б.Х., Шаймов Э.Д., Акобирова А.Т. Исследование влияния электрических и ультразвуковых полей на электрофизические характеристики диффузионных Si-p-n детекторов.....	57
Зарифзода М.А., Файзова М.А. Анализ и обработка результатов экспериментальных исследований теплопроводности кристаллической и фибриллярной наноцеллюлозы.....	68
Комили А.Ш., Давлаткадамова З.Ш. Свободное падение тел от аристотеля до галилея: становление кинематического закона и спор о его экспериментальных основаниях.....	81
Мухаббатов Х.К., Алишери Зукурё. Основы физико-химической технологии огнеупорных материалов.....	96

ХИМИЯ

Джурабеков У.М., Азизкулова О.А., Хамидова Ф.Р., Абдулхаева М.И. Исследование инфракрасных спектров поглощения координационных 1,2,4-триазолтиольных соединений молибдена(V)	109
Маматов Э.Д., Хисайнов Т.Х., Валиев Ю.Я. Переработка зернистых фосфоритовых руд Таджикистана.....	122
Муродализода У.М., Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш., Холов Ё.Дж., Алиева Л.З. Исследование микроструктуры цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5 с литием.....	130
Амири С.М., Каримов М.Б. Дисперсная основа огнетушащих порошков с использованием некоторых солей ортофосфата.....	137
Муродализода У.М., Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш., Холов Ё.Дж., Алиева Л.З. Микроструктура цинкового сплава ZnAl1.0Ni0.5 с натрием.....	147

CONTENTS

MATHEMATICS

Sharofiddin Yusufi, Vosidov Sh.Y., Umarov A.N. Computer mathematical modeling in solving a system of exponential equations.....	5
Karimov A.G. Solving first- and second-order differential equations by analytical and numerical methods in the visual basic 6.0 environment.....	16
Jurazoda Kh.Sh., Salmoni Abdurahim, Umarov A.N. Investigation of the effectiveness of a software package for calculating the non-stationary temperature distribution in a condensing medium.....	26

PHYSICS

Olimi A.R., Nabiev J.G. Research and study of spring pendulum oscillations using computer modeling in physics.....	35
Jumaev S.S., Safarov M.M. Thermophysical and electrophysical properties of multifrionde composite materials based on titanium dioxide.....	45
Gaibov A.G., Khimmatkulov O., Vakhobov K.I., Islamov B.H., Shoimov E.J., Akobirova A.T. Study of the influence of electric and ultrasonic fields on the electrophysical characteristics of diffusion Si-p-n detectors.....	57
Zarifzoda M.A., Fayzova M.A. Analysis and processing of experimental results on the thermal conductivity of crystalline and fibrillary nanocellulose.....	68
Komili A.Sh. Davlatqadamova Z.Sh. Free fall from aristotle to galileo: the making of a kinematic law and the debate over its experimental foundations.....	81
Muhabbatov Kh. K., Alisheri Zukuriyo. Physicochemical foundations of refractory materials technology.....	96

CHEMISTRY

Jurabekov U.M., Azizkulova O.A., Khamidova F.R., Abdulhaeva M.I. Study of infrared absorption spectra of coordination 1,2,4-triazole thiol compounds of molybdenum(V)	109
Mamatov E.Dj., Hisainov T.Kh., Valiev Y.Y. Processing of granulated phosphorite ores in Tajikistan.....	122
Murodalizoda U.M., Ganiev I.N., Okilov Sh.Sh., Kholov Y.J., Alieva L.Z. Investigation of the microstructure of zinc alloy ZnAl1.0Ni0.5 with lithium.....	130
Amiri S.M., Karimov M.B. Dispersed basis of extinguishing powders using some orthophosphate salts.....	137
Murodalizoda U.M., Ganiev I.N., Okilov Sh. Sh., Kholov Y.J., Alieva L.Z. The microstructure of zinc alloy ZnAl1.0Ni0.5 with sodium.....	147

ПАЁМИ

ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА

Бахши илмҳои табиӣ

2026. № 3 (37)

ВЕСТНИК

ДАНГАРИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО

УНИВЕРСИТЕТА

Серия естественных наук

2026. № 3 (37)

BULLETIN

OF DANGARA STATE UNIVERSITY

Series of natural science

2026. № 3 (37)

Ба матбаа 15.09.2026 супорида шуд.

Ба чопаш 25.09.2026 имзо шуд.

Қоғози офсет. Андозаи 60x84 1/8. Ҷузъи чоп. 18,75

Супориши №230. Адади нашр 50 нусха.

ҶДММ “Матбаа”-и ш.Бохтар, кӯчаи М.Осимӣ, 22^а