

ISSN 2410-4221
2026/№1(35)

ПАЁМИ

ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА

Бахши илмҳои табиӣ

2026. № 1 (35)

ВЕСТНИК

ДАНГАРИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО

УНИВЕРСИТЕТА

Серия естественных наук

2026. № 1 (35)

BULLETIN

OF DANGARA STATE UNIVERSITY

Series of natural science

2026. № 1 (35)

www.vestnik.dsu.tj

№ 1 (35)

Данғара – 2026

**ПАЁМИ ДОНИШГОҶИ ДАВЛАТИИ ДАНГАРА
БАҶШИ ИЛМҶОИ ТАБИЙ**

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

Сармуҳаррири маҷалла:

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

Муовини сармуҳаррир:

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

Муҳаррири техникӣ:

Садриддинзода С.С. – номзади илмҳои техникӣ, дотсент.

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/МҶ-97
аз 20 августи соли 2021 ба қайд
гирифта шудааст*

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

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

*Дар маҷалла мақолаҳои илми соҳаҳои
илмҳои зерин нашр 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. № 1 (35).*



Ҳайати таҳририя:

01.01.00 – Математика

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

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

Мирзоев Сайъло 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 Исломович – доктори илмҳои физика-
математика, профессор (ДМТ);

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

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

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

Олимӣ Ашурали Рамазон – номзади илмҳои физика-
математика (ДДД);

02.00.00 – Химия

Атрощенко 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 Гадович – доктори илмҳои
химия, профессор (ДДОТ ба номи С. Айнӣ);

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

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

Исозода Диловар Тариқ – 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

Кодирзода Х.К. – доктора экономических наук, доцент, проректор по науке
Дангаринского государственного университета.

Технический редактор:

Садриддинзода С.С. – кандидат технических наук, доцент.

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. № 1 (35).*



Члены редколлегии:

01.01.00 – Математика

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

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

Мирзоев Саягъло 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 – кандидат физико-математических 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 Гадович – 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 – доктор технических наук, доцент (ТЭИ, Бохтар);

Мухторов Лоик Гургович, 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:

Kodirzoda H.K. – Doctor of Economic Sciences, Associate Professor Vice-Rector for Science of Dangara State University

Technical editor:

Sadriddinzoda S.S. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

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 – Mathematical,

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. 1. (35).*



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

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

Isodzoda Dilovar Tariq – 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).

НЕТРИВИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОРОТКИХ
ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СУММ Г. ВЕЙЛЯ В МАЛЫХ ДУГАХ

Назрублов Н.Н.

Институт математики имени А. Джураева НАНТ

Согласно теореме Дирихле о приближении действительных чисел рациональными числами, каждое действительное α представимо в виде

$$\alpha = \frac{a}{q} + \lambda, \quad (a, q) = 1, \quad 1 \leq q \leq \tau, \quad |\lambda| \leq \frac{1}{q\tau}.$$

Через $\mathfrak{M}(P)$ обозначим те числа α , для которых $q \leq P$, через $m(p)$ обозначим оставшиеся α . $\mathfrak{M}(P)$ и $m(p)$ соответственно называются большими и малыми дугами.

Общеизвестно, что вывод асимптотической формулы в изучения аддитивных задач с почти равными слагаемыми, к которым относятся проблема Варинга и проблема Эстермана, сводится поведению коротких тригонометрических сумм Г. Вейля вида

$$T_k(\alpha; x, y) = \sum_{x-y < n \leq x} e(\alpha n^k),$$

в больших дугах и их оценка в малых дугах. Поведение $T_k(\alpha; x, y)$ в больших дугах последовательно изучено в работах [1, стр. 564], [2, стр. 737], [3, стр. 257], [4, стр. 196], [5, стр. 447] и [6, стр. 238]. В работе [7, стр. 612] для тригонометрической суммы $T_k(\alpha; x, y)$ была доказана, что если $x \geq x_0 > 0$, $y_0 < y \leq 0,01x$, $\tau(h)$ - функция делителей, α - вещественное число,

$$\left| \alpha - \frac{a}{q} \right| \leq \frac{1}{q^2}, \quad (a, q) = 1,$$

то справедлива оценка

$$|T_k(\alpha; x, y)| \leq 2y \left(4k! \left(\frac{1}{q} + \frac{1}{y} + \frac{q \ln q}{y^k} \right) \max_{h < y^{k-1}} \tau(h) \right)^{\frac{1}{2^{k-1}}},$$

которая нетривиальна при $q \gg 2^{2^{k-1}} 4k! \tau(y^{k-1})$ то есть $q \gg y^\varepsilon$. В этой работе получена новая оценка суммы $T_k(\alpha; x, y)$, которая будет нетривиальной при $q \gg (\ln y)^A$, A - абсолютная положительная постоянная.

Теорема. Пусть $x \geq x_0 > 0$, $y_0 < y \leq 0,01x$, α - вещественное число,

$$\left| \alpha - \frac{a}{q} \right| \leq \frac{1}{q^2}, \quad (a, q) = 1,$$

тогда справедлива оценка

$$|T_k(\alpha; x, y)| \leq 2y \left(2^{2k} 6kk! \left(\frac{1}{q} + \frac{1}{y} + \frac{q \ln q}{y^k} \right) \ln y \right)^{2^{-k}}.$$

Пусть Δ_j означает j - применение разностного оператора, так что для многочлена $f(u)$ степени n

$$\begin{aligned} \Delta_1(f(u); t) &= f(u+t) - f(u), \\ \Delta_{j+1}(f(u); t_1, \dots, t_{j+1}) &= \Delta_1(\Delta_j(f(u); t_1, \dots, t_j); t_{j+1}).(f(u); t_1, \dots, t_j + 1) \end{aligned} \quad (1)$$

Тогда нетрудно убедиться, что

$$\Delta_j(u^k; t_1, \dots, t_j) = t_1 \dots t_j p_j(u; t_1, \dots, t_j),$$

где p_j - многочлен от u степени $k-j$ со старшим коэффициентом $k!/(k-j)!$. При доказательстве теоремы воспользуемся следующей леммой, которая доказана в работе [7, стр. 610].

Лемма. Пусть

$$T(f(u); x, y) = \sum_{x-y < u \leq x} e(f(u)),$$

где $f(u)$ - произвольный многочлен степени n . Тогда при $j = 1, \dots, n-1$ имеет место

$$|T(f(u); x, y)|^{2^j} \leq (2y)^{2^j - j} \sum_{|h_1| < y} \dots \sum_{|h_j| < y} T_j, T_j = \left| \sum_{u \in I_j} e(\Delta_j(f(u); h_1, \dots, h_j)) \right|,$$

где интервалы $I_j = I_j(x, y; h_1, \dots, h_j)$ удовлетворяют соотношениям:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_1(x, y; h_1) = (x-y, x] \cap (x-y-h_1, x-h_1], \\ I_j &= I_j(x, y; h_1, \dots, h_j) = I_{j-1}(x, y; h_1, \dots, h_{j-1}) \cap I_{j-1}(x-h_j, y; h_1, \dots, h_{j-1}), \end{aligned}$$

то есть интервал $I_{j-1}(x-h_j, y; h_1, \dots, h_{j-1})$ получается из интервала $I_{j-1} = I_{j-1}(x, y; h_1, \dots, h_{j-1})$ сдвигом на $-h_j$ всех интервалов, пересечением которых он является.

Доказательство теоремы. По лемме 1 при $j = k-1$ имеем

$$\begin{aligned} |T_k(\alpha; x, y)|^{2^{k-1}} &\leq (2y)^{2^{k-1} - k} \sum_{|h_1| < y} \dots \sum_{|h_{k-1}| < y} \left| \sum_{u \in I_{k-1}} e(\Delta_{k-1}(\alpha u^k; h_1, \dots, h_{k-1})) \right|, \\ \Delta_{k-1}(\alpha u^k; h_1, \dots, h_{k-1}) &= \alpha k! h_1 h_2 \dots h_{k-1} \left(u + \frac{1}{2} h_1 + \frac{1}{2} h_2 \dots + \frac{1}{2} h_{k-1} \right), \end{aligned}$$

где интервал $I_{k-1} = I_{k-1}(x, y; h_1, \dots, h_{k-1})$ удовлетворяет соотношениям

$$\begin{aligned} I_1 &= I_1(x, y; h_1) = (x-y, x] \cap (x-y-h_1, x-h_1], \\ I_{k-1}(x, y; h_1, \dots, h_{k-1}) &= I_{k-2}(x, y; h_1, \dots, h_{k-2}) \cap I_{k-2}(x-h_{k-1}, y; h_1, \dots, h_{k-2}). \end{aligned}$$

Таким образом,

$$|T_k(\alpha; x, y)|^{2^{k-1}} \leq (2y)^{2^{k-1}-k} \sum_{|h_1| < y} \dots \sum_{|h_{k-1}| < y} \left| \sum_{u \in I_{k-1}} e(\alpha k! h_1 h_2 \dots h_{k-1} u) \right|$$

В последней сумме члены с $h_1 \dots h_{k-1} = 0$ дают вклад не более $(k-1)y(2y)^{k-2}$

Поэтому

$$|T_k(\alpha; x, y)|^{2^{k-1}} \leq (2y)^{2^{k-1}-k} (2^{k-1} \mathcal{J}_k(\alpha; x, y) + (k-1)y(2y)^{k-2}), \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \mathcal{J}_k(\alpha; x, y) &\leq \sum_{1 \leq |h_1| < y} \dots \sum_{1 \leq |h_{k-1}| < y} \left| \sum_{u \in I_{k-1}} e(\alpha k! h_1 h_2 \dots h_{k-1} u) \right| = \\ &= \sum_{h=1}^{y^{k-1}} \tau'(h) \left| \sum_{u \in I_{k-1}} e(\alpha k! h u) \right|, \quad \tau'(h) = \sum_{\substack{h=h_1 \dots h_{k-1} \\ 1 \leq h_1 \dots h_{k-1} < y}} 1 \leq \tau(h). \end{aligned}$$

Применим к внутренней сумме в $T_k(\alpha; x, y)$ лемму 4 из [8, стр.94] имея в виду, что она является линейной, сплошной, длина которой не превосходит y :

$$\mathcal{J}_k(\alpha; x, y) \leq \sum_{h=1}^{y^{k-1}} \tau(h) \min\left(y, \frac{1}{2\|\alpha k! h\|}\right).$$

Далее воспользуемся неравенством Коши. Имеем

$$\begin{aligned} \mathcal{J}_k^2(\alpha; x, y) &\leq \sum_{h=1}^{y^{k-1}} \tau^2(h) \sum_{h=1}^{y^{k-1}} \min\left(y, \frac{1}{2\|\alpha k! h\|}\right)^2 \leq \\ &\leq ky^k \ln y \sum_{h=1}^{y^{k-1}} \min\left(y, \frac{1}{2\|\alpha k! h\|}\right) \leq ky^k \ln y \sum_{h=1}^{k!y^{k-1}} \min\left(y, \frac{1}{2\|\alpha k! h\|}\right). \end{aligned}$$

Далее, воспользовавшись леммой 5 из [8, стр. 94], найдем

$$\begin{aligned} \mathcal{J}_k^2(\alpha; x, y) &\leq 6ky^k \ln y \left(\frac{k!y^{k-1}}{q} + 1 \right) (y + q \ln q) \leq \\ &\leq 6kk!y^k \ln y \left(\frac{y^k}{q} + y^{k-1} + y + q \ln q \right) \leq 6kk!y^{2k} \ln y \left(\frac{1}{q} + \frac{1}{y} + \frac{1}{y^{k-1}} + \frac{q \ln q}{y^k} \right). \end{aligned}$$

Подставляя эту оценку в (2), получим

$$\begin{aligned} |T_k(\alpha; x, y)|^{2^k} &\leq 2(2y)^{2^k-2k} (2^{2k-2} \mathcal{J}_k^2(\alpha; x, y) + (k-1)^2 y^2 (2y)^{2k-4}) \\ &\leq 2(2y)^{2^k-2k} \left(2^{2k-2} 6kk!y^{2k} \ln y \left(\frac{1}{q} + \frac{1}{y} + \frac{1}{y^{k-1}} + \frac{q \ln q}{y^k} \right) + (k-1)^2 y^2 (2y)^{2k-4} \right) = \\ &= 2^{2k} (2y)^{2^k} \left(3kk! \ln y \left(\frac{1}{q} + \frac{1}{y} + \frac{1}{y^{k-1}} + \frac{q \ln q}{y^k} \right) + \frac{(k-1)^2}{8y^2} \right) \leq \end{aligned}$$

$$\leq (2y)^{2^k} 2^{2k} 6kk! \left(\frac{1}{q} + \frac{1}{y} + \frac{q \ln q}{y^k} \right) \ln y.$$

Извлекая корень степени 2^{k-1} , получим утверждение теоремы.

Литература

1. Рахмонов З.Х. Тернарная задача Эстермана с почти равными слагаемыми. – Математические заметки, 2003, т. 74, вып. 4, с. 564 – 572.
2. Рахмонов З.Х., Азамов А.З., Мирзоабдугафуров К.И. Оценка коротких тригонометрических сумм Г.Вейля четвертой степени. - ДАН РТ, 2010, т. 53, №10, с. 737 – 744.
3. Рахмонов З.Х., Озодбекова Н.Б. Оценка коротких тригонометрических сумм Г.Вейля. - ДАН РТ, 2011, т. 54, № 4, с. 257 – 264.
4. Рахмонов З.Х. Короткие тригонометрические суммы Г.Вейля. – Ученые записки Орловского университета, серия естественные, технические и медицинские науки, 2012, №6, ч. 2, с. 194 – 203.
5. Рахмонов З.Х. Кубическая задача Эстермана с почти равными слагаемыми. - Математические заметки, 2014, т. 95, вып. 3, с. 445 – 456.
6. Рахмонов З. Х., Нарзублоев Н.Н., Рахимов А.О. Короткие суммы Г.Вейля и их приложения. - Чебышёвский сборник, 2015, т. 16, №1(53), с. 232 – 247.
7. Рахмонов З. Х., Азамов А.З., Нарзублоев Н.Н. Оценка коротких тригонометрических сумм Г.Вейля в малых дугах. - ДАН РТ. 2018, т. 61, №7-8, с. 609 – 614.
8. Карацуба А.А. Основы аналитической теории чисел. – 2 – ое изд, М.: Наука, 1983.

НЕТРИВИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОРОТКИХ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СУММ Г. ВЕЙЛЯ В МАЛЫХ ДУГАХ

Аннотация. В малых дугах получена оценка короткой тригонометрической суммы Вейля вида

$$T_k(\alpha; x, y) = \sum_{x-y < n \leq x} e(\alpha n^k), \quad \left| \alpha - \frac{a}{q} \right| \leq \frac{1}{q^2}, \quad (a, q) = 1,$$

которая будет нетривиальной при $q \gg (\ln y)^A$, A – абсолютная положительная постоянная.

Ключевые слова: короткая сумма Г.Вейля, малые дуги, функция делителей, диофантово уравнение.

БАҶОИ ҒАЙРИТРИВИАЛИИ СУММАҶОИ ТРИГОНОМЕТРИИ КЎТОҶИ Г.ВЕЙЛ ДАР КАМОНҶОИ ХУРД

Ғишурда. Дар камонҶои хурд баҶои суммаи тригонометрии кўтоҶи Г.Вейл намуди

$$T_k(\alpha; x, y) = \sum_{x-y < n \leq x} e(\alpha n^k), \quad \left| \alpha - \frac{a}{q} \right| \leq \frac{1}{q^2}, \quad (a, q) = 1,$$

ёфта шудааст, ки хангоми $q \gg (\ln y)^A$, A – доимии мутлақ ғайритривиалӣ мебошад.

Калидвожаҳо: суммаи кўтоҶи Г.Вейл, камонҶои хурд, функцияи тақсимшавандаҳо, муодилаи диофантӣ.

NON – TRIVIAL ESTIMATE OF SHORT EXPONENTIAL WEYL'S SUM IN MINOR ARCS

Annotation. In minor arcs we obtained the estimation of the short exponential Weyl's sum of the following form

$$T_k(\alpha; x, y) = \sum_{x-y < n \leq x} e(\alpha n^k), \quad \left| \alpha - \frac{a}{q} \right| \leq \frac{1}{q^2}, \quad (a, q) = 1,$$

which will be non-trivial for $q \gg (\ln y)^A$, where A – is some absolute positive constant.

Keywords: Short Weyl exponential sum, minor arcs, divisor function, diophantine equation

Маълумот дар бораи муаллиф:

Назрублов Насруло Нурублович – н.и.ф.-м., мудири шуъбаи алгебра, назарияи ададҳо ва топологияи Институти математикаи ба номи А. Ҷураеви Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Суроға: 734063, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кўчаи Айнӣ, 299/4. Телефон: (+992) 918 – 91 – 32 – 10. E-mail: nasrullo_86@bk.ru.

Сведения об авторах:

Назрублов Насруло Нурублович – кандидат физико – математических наук, заведующей отдела алгебры, теории чисел и топологии Института математики имени А. Дзюраева НАНТ. Адрес: 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/4. Телефон: (+992) 918 – 91 – 32 – 10. E-mail: nasrullo_86@bk.ru.

Information about the authors:

Nazrubloev Nasrulo Nurubloevich – candidate of physical and mathematical sciences, Head of the department of algebra, theory of numbers and topology of the A. Dzhuraev Institute of mathematics of National Academy of sciences of Tajikistan. Address: 734063, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Ayni st., 299/4. .Phone: (+992) 918 – 91 – 32 – 10. E-mail: nasrullo_86@bk.ru.

Рецензент: Хайруллохзода Ш.А – д.ф.-м.н., профессор кафедры алгебры и теории чисел ТНУ

Мақола ба редакция ворид шуд: 06.10.2025

Аз тақриз баргашт: 03.01.2026

Ба чоп тавсия шуд: 05.03.2026

УДК: 517.55: 519.6

ҲАЛЛИ УМУМИКАРДАШУДАИ МАСЪАЛАИ ДИРИХЛЕ БАРОИ БАЪЗЕ МУОДИЛАҲОИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ҒАЙРИХАТТИИ ТАРТИБИ ДУЮМ БО ҲОСИЛАҲОИ ХУСУСӢ

Раҳмонов Б.А., Қаюми Д.Д., Исматов Ш.Р.

Институти математикаи ба номи А.Чӯраеви Академияи миллии
илмҳои Тоҷикистон

Фарз мекунем, ки муодилаи дифференсиалии ғайрихаттии тартиби дуум дода шуда бошад. Усули исботи мавҷудияти ҳалли умумшударо, ки дар теоремаи Рисс (дар намуди функционали хаттӣ дар фазои Гилбертӣ) асос ёфтааст, ба тафсил тавсиф мекунем.

1. Масъалаи ғайрихаттии

$$-\Delta u + f(x, u) = F(x), \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Omega, \quad (1)$$

$$u \in \dot{W}_2^1(\Omega) \quad (2)$$

-ро дида мебароем, ки ғайрихаттӣ будан зери функсияи $f(x, u)$ ниҳон мебошад.

Дар ин ҷо усули хаттӣ карданро истифода мебарем. Барои ин функсияи $v \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ -ро маълум ҳисоба масъалаи хаттии зеринро дида мебароем:

$$-\Delta u = F(x) - f(x, v) \quad (3)$$

$$u \in \dot{W}_2^1(\Omega). \quad (4)$$

Таърифи 1. Бигузур $f(x) \in L_2(\Omega)$ бошад. Функсияи $u \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ ҳалли умумишудаи масъалаи (1)-(2) номида мешавад, агар айнияти интегралии

$$\int_{\Omega} \sum_{i=1}^n \frac{\partial u}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} dx = \int_{\Omega} (F(x) - f(x, v)) \Phi(x) dx \quad (5)$$

-ро барои дилхоҳ $\Phi(x) \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ қонеъ гардонад.

Ҳамин тавр, баробарии (5) -ро дар асоси таъриф ҳамчун ҳалли умумишуда интиҳоб менамоем. Қайд мекунем, ки агар $u(x)$ -ҳалли классикии масъалаи (1)-(2) бошад, пас он ҳалли умумишудаи ин масъала мебошад. (баръаксаш доимо ҷой дошта наметавонад.)

Дар фазои $\dot{W}_2^1(\Omega)$ нормаро ба таври зерин ворид менамоем:

$$\|u\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'} = \left\{ \int_{\Omega} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right)^2 dx \right\}^{1/2}$$

Бояд қайд намуд, ки ин норма бо нормаи

$$\|u\|_{\dot{W}_2^1(\Omega)} = \left\{ \int_{\Omega} \left[u^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right)^2 \right] dx \right\}^{1/2}$$

эквивалент мебошад. Дар $(\dot{W}_2^1(\Omega))'$ зарби скаляриро ба намуди

$$\int_{\Omega} \sum_{i=1}^n \frac{\partial u}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} dx = \{u, \Phi\}$$

ворид менамоем, он гоҳ айнияти интегралии (5) намуди зерин навишта метавонем:

$$\{u, \Phi\} = \langle F - f_v, \Phi \rangle \quad (6)$$

ки ин ҷо $\langle F - f_v, \Phi \rangle = \int_{\Omega} f(x, v) \Phi dx$ аст. Агар $u \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ бошад, пас $u(x)$ масъалаи канории (2)-ро қонё мегардонад. Теорема оиди ягонагии ҳалли умумишудаи масъалаи (1)-(2)-ро новобаста аз теорема оиди мавҷудияти ҳал, исбот менамоем.

Теоремаи 1. *Ҳалли умумишудаи масъалаи (1)-(2) ягона мебошад.*

Исбот. Бигузур ду ҳалли умумишудаи u_1 ва u_2 -и масъалаи (1)-(2) ба маънои таърифи додаи мо мавҷуд бошад, яъне

$$\int_{\Omega} \sum_{i=1}^n \frac{\partial u_1}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} dx = \int_{\Omega} (F(x) - f(x, v)) \Phi(x) dx,$$

$$\int_{\Omega} \sum_{i=1}^n \frac{\partial u_2}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} dx = \int_{\Omega} (F(x) - f(x, v)) \Phi(x) dx.$$

Аз баробарии якум дуумашро тарҳ намуда, ҳосил мекунем:

$$\int_{\Omega} \sum_{i=1}^n \frac{\partial(u_1 - u_2)}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} dx = 0.$$

Ба сифати Φ фарқи $u_1 - u_2$ -ро интихоб мекунем (дар ин ҳолат чӣ қор карда метавонем, аз сабабе, ки $u(x)$ ва $\Phi(x)$ ҳарду дар як фазои $\dot{W}_2^1(\Omega)$ мехобад), пас ҳосил мекунем:

$$\int_{\Omega} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial(u_1 - u_2)}{\partial x_i} \right)^2 dx = 0, \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial(u_1 - u_2)}{\partial x_i} = 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n;$$

яъне $u_1 - u_2 = const$ ин доимӣ дар $\partial\Omega$ ба сифр баробар аст. Аз ин рӯ, $u_1 - u_2 \equiv 0$, пас $u_1 \equiv u_2$ аз ин ҷо маълум мегардад, ки ҳал ягона мебошад. Теоремаи 1 исбот шуд.

Теоремаи 2. Бигузур Ω -соҳаи маҳдуд дар маҷмуи R^n ва барои дилхоҳ $v_1, v_2 \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ функцияи $f(x, v)$ ки аз фазои $L_2(\Omega)$ мебошад ва шарти

$$\left| \int_{\Omega} (f(x, v_1) - f(x, v_2)) dx \right| \leq \tau \left\{ \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} \left(\frac{\partial(v_1 - v_2)}{\partial x_i} \right)^2 dx \right\}^{1/2} \quad (7)$$

-ро қонеъ мегардонад, он гоҳ агар $\tau \frac{d_1}{\sqrt{2}} < 1$, пас масъалаи (1)-(2) барои дилхоҳ функция f аз фазои $L_2(\Omega)$ яққиммата ҳақиқатан аст. Дар ин ҷо d_1 – доими нобаробарии Фридрихс мебошад.

Қайд: Нобаробарии Фридрихсро бе исбот меорем. Бигузур Ω -соҳаи маҳдуд дар маҷмуи R^n бошад. Он гоҳ барои дилхоҳ $u \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ нобаробарии зерин дуруст аст:

$$\|u\|_{L_2(\Omega)} \leq \frac{d_1}{\sqrt{2}} \left\{ \sum_{i=1}^n \left\| \frac{\partial u}{\partial x_i} \right\|_{L_2(\Omega)}^2 \right\}^{1/2},$$

ки ин ҷо d_1 – теғаи хурдтарин дар байни параллелолипеди $\Pi = \{x: 0 < x_i < d_i\}$, ки бо соҳаи Ω маҳдуд карда шудааст, мебошад.

Акнун ба исботи теоремаи 2 шуруъ мекунем.

Исбот. Теоремаи 2-ро ба ҳалли масъалаи (3)-(4) тадбиқ мекунем. Мувофиқи ин теорема ягонагии ҳалли умумии

$$\{u, \Phi\} = \langle F - f_v, \Phi \rangle, \quad \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega). \quad (8)$$

мавҷуд аст.

Ҳамин тавр, оператори $u = Bv$ яққиммата муайян карда мешавад. Он гоҳ дар асоси баробарии (8) ҳосил мекунем:

$$\{Bv, \Phi\} = \langle F - f_v, \Phi \rangle. \quad (8')$$

Бигузур $v_1, v_2 \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ бошад. Он гоҳ

$$\begin{aligned} \{Bv_1, \Phi\} &= \langle F - f_{v_1}, \Phi \rangle, & \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega), \\ \{Bv_2, \Phi\} &= \langle F - f_{v_2}, \Phi \rangle, & \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega). \end{aligned}$$

Бо истифода аз хосияти хаттӣ будани зарби скалярӣ, ҳосил мекунем:

$$\{Bv_1 - Bv_2, \Phi\} = \langle f_{v_1} - f_{v_2}, \Phi \rangle, \quad \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega). \quad (9)$$

Азбаски $Bv_1 \in \dot{W}_2^1(\Omega)$, $Bv_2 \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ аст, пас мо метавонем дар баробарии (9)

$Bv_1 - Bv_2 = \Phi$ интиҳоб менамоем ва дар натиҷа ҳосил мекунем:

$$\|Bv_1 - Bv_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'}^2 = \langle f_{v_1} - f_{v_2}, Bv_1 - Bv_2 \rangle. \quad (10)$$

Бигузур $G \in L_2(\Omega)$ ва $\Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ бошад. Бо истифода аз нобаробарии Коши-Буняковский, ҳосил мекунем:

$$|\langle G, \Phi \rangle| \leq \|G\|_{L_2(\Omega)} \|\Phi\|_{L_2(\Omega)}.$$

Аз нобаробарии Фридрихс бармеояд, ки

$$\|\Phi\|_{L_2(\Omega)} \leq \frac{d_1}{\sqrt{2}} \left\{ \sum_{i=1}^n \left\| \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right\|_{L_2(\Omega)}^2 \right\}^{1/2} = \frac{d_1}{\sqrt{2}} \|\Phi\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'}$$

Бинобар ин

$$|\langle G, \Phi \rangle| \leq \frac{d_1}{\sqrt{2}} \|G\|_{L_2(\Omega)} \|\Phi\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'}$$

Ин нобаробарии ҳосилшударо ба (10) гузошта ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} \|Bv_1 - Bv_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'}^2 &= |\langle f_{v_1} - f_{v_2}, Bv_1 - Bv_2 \rangle| \leq \\ &\leq \frac{d_1}{\sqrt{2}} \|f_{v_1} - f_{v_2}\|_{L_2(\Omega)} \|Bv_1 - Bv_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'} \end{aligned}$$

Ҳамин тавр, бо истифода аз шарти (7) ҳосил мекунем:

$$\|Bv_1 - Bv_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'}^2 \leq \frac{d_1}{\sqrt{2}} \|f_{v_1} - f_{v_2}\|_{L_2(\Omega)} \leq \tau \frac{d_1}{\sqrt{2}} \|v_1 - v_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'} \quad (11)$$

Мувофиқи шарти теорема $\tau \frac{d_1}{\sqrt{2}} < 1$ мебошад, бинобар ин аз (11) бармеояд, ки оператори B оператори фишурдашаванда дар фазои $(\dot{W}_2^1(\Omega))'$ мебошад. Мувофиқи теорема оиди принципи инъикоси фишурдашаванда оператори B дорои як нуқтаи беҳаракат дар фазои $(\dot{W}_2^1(\Omega))'$ аст, яъне

$$Bu = u. \quad (12)$$

Дар баробарии (8') ҳангоми $u = v$ будан, ҳосил мекунем:

$$\{Bu, \Phi\} = \langle F - f_u, \Phi \rangle, \quad \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega).$$

Аз ин ҷо, бо назардошти баробарии (12) ва хосияти хаттӣ будани зарби скалярӣ ҳосил мекунем:

$$\{u, \Phi\} + \{f_u, \Phi\} = \langle F, \Phi \rangle, \quad \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega)$$

яъне u ҳалли умумии масъалаи (1)-(2) мебошад. Теоремаи 2 исбот шуд.

Бояд зикр намуд, ки масъалаи гузошташуда бо истифода аз мавзӯҳои дар адабиётҳои (ниг. [1] саҳ. 74-83, ниг. [2] саҳ. 28-37, ниг. [3] саҳ. 54-83, ниг. [4] саҳ. 286-299), ки дар руйхати адабиётҳо овардашудаанд, ҳал карда шудааст.

2. Дар ин қисмат назар ба муодилаи (1) боз муодилаи умумитар, яъне муодилаи эллиптикӣ бо коэффисиентҳои тағйирёбандадорро дида мебароем. Бигузур муодилаи эллиптикии

$$-\sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(p(x) \frac{\partial u}{\partial x_i} \right) + f(x, u(x)) = F(x) \quad (13)$$

бо шартҳои канории

$$u|_{\partial\Omega} = 0. \quad (14)$$

дода шуда бошад. Ҳалли умумии масъалаи (13)-(14)-ро ҷустуҷу менамоем:

Таърифи 2. Функцияи $u \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ ҳалли умумишудаи масъалаи (13)-(14) номида мешавад, агар барои дилхоҳ $\Phi(x) \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ айнияти интегралии

$$\int_{\Omega} \left[\sum_{i=1}^n p(x) \frac{\partial u}{\partial x_i} \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} + f(x, u(x)) \Phi(x) \right] dx = \int_{\Omega} F(x) \Phi(x) dx.$$

иҷро гардад.

Фарз мекунем, ки

$$0 < p_0 \leq p(x), \quad \forall x \in \Omega \quad \text{ва} \quad p(x) \in C(\Omega) \quad (15)$$

бошад.

Он гоҳ дар фазои $\dot{W}_2^1(\Omega)$ зарби скалярии зеринро муайян мекунем:

$$\{u, \Phi\}_0 = \int_{\Omega} \left[\sum_{i=1}^n p(x) \frac{\partial u}{\partial x_i} \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right] dx.$$

Акнун бо ин зарби скалярии воридамуадамон нормаро дар фазои $\dot{W}_2^1(\Omega)$ бо чунин тарз муайян мекунем:

$$\|u\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'} = \left\{ \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} p(x) \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right)^2 dx \right\}^{1/2}.$$

Теоремаи 3. Бигузур $\Omega \subset R^n$ - соҳаи маҳдуд ва барои дилхоҳ $v_1, v_2 \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ функцияи $f(x, v)$ ки аз фазои $L_2(\Omega)$ мебошад ва шарти

$$\|f(x, v_1) - f(x, v_2)\|_{L_2(\Omega)} \leq \tau \|v_1 - v_2\|_{\dot{W}_2^1(\Omega)}$$

-ро қонеъ мегардонад, он гоҳ агар $\tau \frac{d_1}{\sqrt{2p_0}} < 1$, пас масъалаи (13)-(14)

якқиммата ҳақиқатанда аст.

Исбот. Теоремаи 3-ро ба ҳалли масъалаи (13)-(14) тадбиқ мекунем. Мувофиқи ин теорема ягонагии ҳалли умумии

$$\{u, \Phi\}_0 = \langle F - f_v, \Phi \rangle, \quad \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega).$$

мавҷуд аст. Бо ёрии ин баробарӣ оператори $B: \dot{W}_2^1(\Omega) \rightarrow \dot{W}_2^1(\Omega)$ -ро муайян мекунем, ки ин оператор чунин амал мекунад:

$$\{Bv, \Phi\}_0 = \langle F - f_v, \Phi \rangle. \quad (16)$$

Бигузур $v_1, v_2 \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ бошад. Он гоҳ

$$\{Bv_1, \Phi\} = \langle F - f_{v_1}, \Phi \rangle, \quad \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega),$$

$$\{Bv_2, \Phi\} = \langle F - f_{v_2}, \Phi \rangle, \quad \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega).$$

Бо истифода аз хосияти хаттӣ будани зарби скалярӣ, ҳосил мекунем:

$$\{Bv_1 - Bv_2, \Phi\} = \langle f_{v_1} - f_{v_2}, \Phi \rangle, \quad \forall \Phi \in \dot{W}_2^1(\Omega).$$

Азбаски $Bv_1 \in \dot{W}_2^1(\Omega)$, $Bv_2 \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ аст, пас аз ин ҷо $Bv_1 - Bv_2 = \Phi$ интиҳоб намуда дар натиҷа ҳосил мекунем:

$$\|Bv_1 - Bv_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'}^2 = \langle f_{v_1} - f_{v_2}, Bv_1 - Bv_2 \rangle. \quad (17)$$

Бояд зикр намуд, ки дар асоси нобаробарии Фридрихс чунин нобаробарӣ ҷой дорад:

$$\sqrt{p_0} \|u\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'} \leq \|u\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))''} \leq \sqrt{C_p} \|u\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'} \quad (*)$$

Азбаски $Bv_1 - Bv_2 \in \dot{W}_2^1(\Omega)$ ва бо назардошти нобаробарии (*) ҳосил мекунем:

$$\|Bv_1 - Bv_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'} \leq \frac{1}{\sqrt{p_0}} \|Bv_1 - Bv_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))''}. \quad (18)$$

Аз тарафи дигар дар асоси нобаробарии Фридрихс чунин нобаробарӣ ҷой дорад:

$$\|Bv_1 - Bv_2\|_{L_2(\Omega)} \leq \frac{d_1}{\sqrt{2}} \|Bv_1 - Bv_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))'}. \quad (19)$$

Акнун бо истифода аз нобаробариҳои (18)-(19) меёбем

$$\|Bv_1 - Bv_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))''} \leq \frac{d_1}{\sqrt{2p_0}} \|f_{v_1} - f_{v_2}\|_{L_2(\Omega)} \leq \tau \frac{d_1}{\sqrt{2p_0}} \|v_1 - v_2\|_{(\dot{W}_2^1(\Omega))''}.$$

Мувофиқи шарти теорема $\tau \frac{d_1}{\sqrt{2p_0}} < 1$ мебошад, бинобар ин аз нобаробарии охирон бармеояд, ки оператори B оператори фишурдашаванда дар фазои $(\dot{W}_2^1(\Omega))''$ мебошад. Мувофиқи теорема оиди принципи инъикоси фишурдашаванда оператори B дорои як нуқтаи беҳаракат ҳам дар фазои $(\dot{W}_2^1(\Omega))''$ ва ҳам дар фазои $\dot{W}_2^1(\Omega)$ аст. Теоремаи 3 исбот шуд.

Бояд қайд намуд, ки ҳалли умумикардашудаи масъалаҳои вариатсионии Дирихле барои муодилаҳои эллиптикӣ дар тамоми фазо дар қорҳои (ниг. [5] саҳ. 736-741, ниг. [6] саҳ. 17-25, ниг. [7] саҳ. 29-36, ниг. [8] саҳ. 555-559) дида баромада шудааст.

Адабиёт

1. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1976.
2. Куфнер А., Фучик С. Нелинейные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1988.
3. Ладъженская О.А. Краевые задачи математической физики. М.: Наука, 1973.

4. *Масленникова В.Н.* Дифференциальные уравнения в частных производных. М.: РУДН, 1997.
5. *Рахмонов Б.А.* О гладкости решения вариационной задачи Дирихле, связанной с некоэрцитивной формой во всем пространстве // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2018. Т. 61. № 9-10. С. 736-741.
6. *Исхоков С.А., Рахмонов Б.А.* Вариационная задача Дирихле, связанная с некоэрцитивной формой во всем пространстве // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2018. № 2 (171). С. 17-25.
7. *Исхоков С.А., Пирназаров К.Б., Рахмонов Б.А.* О разрешимости однородной задачи Дирихле для вырождающихся эллиптических операторов в полупространстве // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. 2024. Т. 67. № 1-2. С. 29-36.
8. *Исхоков С.А., Рахмонов Б.А.* Вариационная задача Дирихле для вырождающихся эллиптических операторов второго порядка во всем пространстве // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2017. Т. 60. № 11-12. С. 555-559.

ҲАЛЛИ УМУМИКАРДАШУДАИ МАСЪАЛАИ ДИРИХЛЕ БАРОИ БАЪЗЕ МУОДИЛАҶОИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ҒАЙРИХАТТИИ ТАРТИБИ ДУЮМ БО ҲОСИЛАҶОИ ХУСУСӢ

Фшуурда. Ин кор ба омӯзиши якқиммата ҳалшавандагии масъалаи умумикардашудаи Дирихле барои муодилаи ғайрихаттии дифференсиалии тартиби дуум бо ҳосилаҳои хусусӣ асос ёфтааст. Бо истифода аз умумикунони усули хаттӣ кардан ба ҳолати муодилаҳои ғайрихаттии дифференсиалӣ бо ҳосилаҳои хусусӣ, теоремаҳо дар бораи мавҷудият ва ягонагии ҳалли умумӣ исбот карда шуданд.

Калимаҳои калидӣ: масъалаи Дирихле, муодилаи ғайрихаттӣ, муодила бо ҳосилаҳои хусусӣ, ҳалли умумишуда, хаттикунонӣ, мавҷудият ва ягонагӣ.

ОБОБЩЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Аннотация. Работа посвящена исследованию однозначной разрешимости обобщенной задачи Дирихле для нелинейного дифференциального уравнения второго порядка в частных производных. С помощью обобщения метода линеаризации на случай нелинейных уравнений доказаны теоремы о существовании и единственности обобщенного решения.

Ключевые слова: задача Дирихле, нелинейное уравнение, уравнение в частных производных, обобщенное решение, линеаризация, существование и единственность.

GENERALIZED SOLUTION TO THE DIRICHLET PROBLEM FOR SOME SECOND-ORDER NONLINEAR PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS

Annotatrion. The work is devoted to the study of the unique solvability of the generalized Dirichlet problem for a nonlinear second-order partial differential equation. By generalizing the linearization method to the case of nonlinear partial differential equations, theorems on the existence and uniqueness of a generalized solution are proved.

Keywords: Dirichlet problem, nonlinear equation, partial differential equation (PDE), generalized solution, linearization, existence and uniqueness.

Маълумот дар бораи муаллифон: *Раҳмонов Бахтовар Абдуғаниевич* – н.и.ф.-м., ходими калони илмии Институти математикаи ба номи А.Чӯраеви Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел.: (+992) 918-75-45-97; e-mail: bakhtovar-1989@mail.ru.

Қаюми Достон Даврон – ходими илмии Институти математикаи ба номи А.Чӯраеви Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел.: (+992) 918-60-24-96; e-mail: br.doston@bk.ru.

Исматов Шохин Раҳматуллоевич – магистри бахши 2-юми Институти математикаи ба номи А.Чӯраеви Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон.

Сведения об авторов: *Раҳмонов Бахтовар Абдуғаниевич* – к.ф.-м.н., ведуший научный сотрудник Института математики им. А. Дзхураева НАН Таджикистана. Тел.: (+992) 918-75-45-97; e-mail: bakhtovar-1989@mail.ru.

Қаюми Достон Даврон – научный сотрудник Института математики им. А. Дзхураева НАН Таджикистана. Тел.: (+992) 988-60-24-96; e-mail: r.doston@bk.ru.

Исматов Шохин Раҳматуллоевич – магистр 2-го курса Института математики им. А. Дзхураева НАН Таджикистана.

Information about the authors: *Rahmonov Bakhtovar Abduganievich* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Research Scientist at the Institute of Mathematics named after A.D. Dzhuraev NAS of Tajikistan; Tel (+992) 918-75-45-97; e-mail: bakhtovar-1989@mail.ru.

Qayumi Doston Davron – Research Associate at the Institute of Mathematics named after A.D. Dzhuraev NAS of Tajikistan; Tel (+992) 988-60-24-96; e-mail: r.doston@bk.ru.

Ismatov Shohin Rahmatulloevich – 2nd year master's degree at the Institute of Mathematics named after A.D. Dzhuraev NAS of Tajikistan.

Муқарриз: Каримзода Д.Ч. – н.и.ф.-м., дотсенти Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Мақола ба редаксия ворид шуд: 12.01.2026

Аз тақриз баргашт: 12.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 14.03.2026

**ҲАЛШАВАНДАГИИ МАСЪАЛАҲОИ КАНОР БАРОИ БАЪЗЕ
СИСТЕМАҲОИ МУОДИЛАҲОИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ
ЭЛЛИПТИКИИ ТАРТИБИ ШАШ ДАР ҲАМВОРӢ**

Файззода К.Ш.

Донишгоҳ Давлатии Данғара

Дар мақолаҳои И.Н. Векуа [1, саҳ.12], [2, саҳ.37], усули нави омӯзиши системаҳои муодилаҳои дифференсиалии қисман эллиптикӣ пешниҳод шудааст. Ин усул аз гузариш аз масъалаи зикршуда ба муодилаи интегралӣ эквивалентии сингулярӣ дар соҳаи маҳдуд ва сипас омӯзиши ҳалшавандагии ин муодила иборат аст. Баъдтар, ин усул дар мақолаҳои Б.В. Боярский [3, саҳ.35], [4, саҳ.125], А.И. Волперт [5, саҳ.158], [6, саҳ.35], В.С. Виноградов [7, саҳ.54], А. Чураев [8, саҳ.65], П.Т. Дыбов [9, саҳ.55] ва Г. Ҷангибеков [10, саҳ.121] васеъ истифода шудааст.

Ин мақола рушди минбаъдаи ин натиҷаҳоро пешниҳод мекунад. Вобаста ба синфи гомотопии системаҳои умумии эллиптикии муодилаҳои тартиби 6-ум дар ҳамворӣ, шартҳои зарурӣ ва кофӣ барои хосияти нётерӣ дар масъалаи Дирихле ва Нейман муқаррар карда мешаванд ва формулаҳои возеҳ барои ҳисобкунии индекс ба даст оварда мешаванд.

1. Қайдҳо, таърифҳо ва пешниҳодҳои ёрирасон

Бигзор D соҳаи маҳдуди ҳамвории комплексӣ $z = x + iy$ бошад. Бо $C_0^k(D)$ мо маҷмӯи функсияҳои $\varphi(z)$ -ро ифода мекунем, ки k маротиба пайваста дифференсиалӣ мешаванд ва дар D ба таври компактӣ дастгирӣ карда мешаванд, яъне дар як сарҳадӣ (ки ба ҳар як функсия хос аст)-и D нопадид мешаванд.

Бигзор $\omega(z) \in L_p(D)$ функсияи ихтиёрӣ дар фазои $L_p(D)$ бошад. Агар функсияи $\chi(z)$ аз $L_p(D)$ вучуд дошта бошад, ки барои ҳар як функсияи $\varphi(z) \in C_0^k(D)$, баробарӣ

$$\iint_D \omega(z) \frac{\partial^k \varphi}{\partial z^{k_1} \partial \bar{z}^{k_2}} ds_z = (-1)^k \iint_D \chi(z) \varphi(z) ds_z, \quad k_1 + k_2 = k,$$

пас $\chi(z)$ ҳосилаи умумии тартиби k -и функсияи $\omega(z)$ нисбат ба тағйирёбандаҳои z ва \bar{z} дар соҳаи D номида мешавад ва мо $\chi(z) = \frac{\partial^k \omega}{\partial z^{k_1} \partial \bar{z}^{k_2}}$ менависем, ки дар он операторҳои расмии $\frac{\partial}{\partial z}$ ва $\frac{\partial}{\partial \bar{z}}$ бо формулаҳо муайян карда мешаванд, [6, саҳ.35].

$$\frac{\partial}{\partial \bar{z}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x} + i \frac{\partial}{\partial y} \right), \quad \frac{\partial}{\partial z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x} - i \frac{\partial}{\partial y} \right).$$

Таърифи фазои $W_p^k(D)$. Маҷмӯи функсияҳое, ки дар соҳаи D ҷамъшавандаанд ва ҳамаи ҳосилаҳои имконпазири умумии тартиби додашуда k -ро доранд, ки дар D бо дараҷаи додашудаи p ва бо меъёр ҷамъшавандаанд

$$\|\omega\|_{W_p^k} = \left(\iint_D |\omega(z)|^p ds_z + \sum_{k_1+k_2=k} \iint_D \frac{\partial^{k_1} \omega}{\partial z^{k_1} \partial \bar{z}^{k_2}} ds_z \right)^{\frac{1}{p}},$$

фази Соболев номида мешавад ва бо рамзи $W_p^k(D)$, [7, саҳ.54].

2. Изҳороти масъалаи қимати аввали маҳдуд

Ин мақола ҳалли масъалаи Дирихле ва Нейманро барои системаи эллиптикии ду муодилаи тартиби шашум дар ҳамворӣ бо истифода аз усули гузариш ба муодилаи интегралӣ эквивалентии сингулярӣ дар соҳаи маҳдуд баррасӣ мекунад.

Мо системаи умумии эллиптикии ду муодиларо дар ду тағирёбандаи мустақили тартиби 6 дар ҳамворӣ баррасӣ мекунем, ки қайди мураккаби он шакли зеринро дорад.

$$\sum_{n=-3}^3 a_n(z) \frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^{3+n} \partial z^{3-n}} + b_n(z) \frac{\partial^{2m} \bar{\omega}}{\partial \bar{z}^{n-3} \partial z^{n+3}} + \sum_{0 \leq l+j \leq 5} a_{l,j}(z) \frac{\partial^{l+j} \omega}{\partial \bar{z}^l \partial z^j} + b_{l,j}(z) \frac{\partial^{l+j} \bar{\omega}}{\partial \bar{z}^l \partial z^j} = g(z), \quad (1)$$

дар ин ҷо $z = x + iy$, $\omega(z) = u(x, y) + iv(x, y)$.

Мо фарз мекунем, ки коэффитсиентҳои муодилаи (1) функсияҳои пайваста дар \bar{D} мебошанд ва $g(z) \in L^p(D)$, $2 < p < \infty$.

Бар асоси қисми асосии система (1), мо функсияи матритсаро месозем.

$$\mathcal{G}(z, \sigma) = \begin{pmatrix} \mathcal{P}_6(z, \sigma) & \mathcal{Q}_6(z, \sigma) \\ \mathcal{Q}_6(z, \sigma) & \mathcal{P}_6(z, \sigma) \end{pmatrix},$$

дар ин ҷо,

$$\mathcal{P}_6(z, \sigma) = \sum_{n=-3}^3 a_n(z) \sigma^{3+n} \bar{\sigma}^{3-n}, \quad \mathcal{Q}_6(z, \sigma) = \sum_{n=-3}^3 b_n(z) \sigma^{3-n} \bar{\sigma}^{3+n}.$$

Эллиптикии системаи (1) маънои онро дорад, ки барои ҳар як нуқтаи $z \in \bar{D}$ ва ҳар як адади комплексии ғайрисифрӣ $\sigma = \sigma_1 + i\sigma_2$ нобаробарии $\det \mathcal{G}_z(\sigma) \neq 0$ бояд қонеъ карда шавад.

$$\det \mathcal{G}(z, \sigma) \equiv |\mathcal{P}_6(z, \sigma)|^2 - |\mathcal{Q}_6(z, \sigma)|^2 \neq 0 \quad (2)$$

барои ҳама $z \in \bar{D}$, $\sigma = \sigma_1 + i\sigma_2 \neq 0$. Дар оянда, барои қулайӣ, бо муаррифии қайди $t = \frac{\sigma}{\bar{\sigma}}$, мо функсияи матритсавии $\mathcal{G}_6(z, \sigma)$ ро дар шакли

$$\mathcal{G}_6(z, t) = \begin{pmatrix} \mathcal{P}_6(z, t) & \mathcal{Q}_6(z, t) \\ \hat{\mathcal{Q}}_6(z, t) & \hat{\mathcal{P}}_6(z, t) \end{pmatrix}, \quad |t| = 1, \quad z \in \bar{D},$$

дар ин ҷо

$$\mathcal{P}_6(z, t) = \bar{t}^3 \sum_{n=-3}^3 a_n(z) t^{3+n} \equiv \bar{t}^3 P_6(z, t), \quad \mathcal{Q}_6(z, t) = \bar{t}^3 \sum_{n=-3}^3 b_n(z) \equiv \bar{t}^3 Q_6(z, t),$$

Бе аз даст додани умумӣ, мо фарз мекунем, ки $D = \{z: |z| < 1\}$. Барои муодилаи умумӣ (1), мо масъалаи арзиши сарҳадии Дирихлеро таҳқиқ хоҳем кард:

Масъалаи Дирихле. Функсияи $\omega(z)$ -ро аз синфи $W_p^6(D) \cap C^2(\bar{D})$, ёбед, ки муодилаи (1)-ро дар дохили соҳаи D ва шартҳои сарҳадии Γ -ро дар сарҳади он қонё гардонад:

$$\frac{\partial^j \omega}{\partial n^j} \Big|_{\Gamma} = 0, \quad j = 0, 1, 2, \quad (3)$$

ки дар он $\frac{\partial \omega}{\partial n}$ ҳосилаи $\omega(z)$ -ро дар самти нормали беруна дар нуқтаҳои контури Γ нишон медиҳад.

То ҷое ки мо медонем, аввалин мақола, ки ба омӯзиши системаҳои эллиптикии тартиби шашуми (1) бахшида шудааст, кори П.Т. Дыбов [8, саҳ.65] мебошад, ки дар он натиҷаҳои хосияти Фредҳолми масъалаи Дирихле танҳо дар ҳолате тартиб дода мешаванд, ки системаи (1) эллиптикии қавӣ дошта бошад. [3, саҳ.35],

Функсияи $\omega(z)$ ҳалли масъала ҳисобида мешавад, агар:

1. Дар маънои умумии Соболев ҳосилаи тартиби 6-и $\omega(z)$ ва $\omega(z) \in W_p^{(6)}(D + \Gamma)$; вучуд дорад;
2. $\omega(z)$ қариб дар ҳама ҷо дар Γ муодилаи (1)-ро қонё мекунад;
3. $\omega(z)$ шартҳои марзии (3)-ро қонё мекунад.

Масъалаи (1), (3) нётерӣ номида мешавад, агар:

1. Зерфазои ҳалли масъалаи якхела (барои $g(z) = 0$) андозагирии ниҳой аст (мо андозаи онро бо l ишора мекунем).
 2. Шумораи маҳдуди k бо шартҳои мустақиле вучуд дорад, ки барои ҳалли масъалаи (1), (3) зарур ва кофӣ мебошанд.
- Агар масъалаи (1), (3) Нётерӣ бошад, пас адади $\kappa = l - k$ индекси ин масъала номида мешавад.

3. Ҳалшавандагии масъалаи Дирихле барои муодилаҳои интегралӣ сингулярӣ дар соҳаи маҳдуд

Лемма 1. Функцияи матритсавии $\mathcal{G}_6(z, t)$ барои ҳамаи $z \in \bar{D}$ ва $|t| = 1$ ($\det \mathcal{G}_6(z, t) \neq 0$) ғайриҷақ аст, агар ва танҳо дар сурате, ки яке аз нобаробарӣ иҷро шавад.

$$\sum_{n=0}^3 \Delta_n(z) > 2M(z), \text{ при } \forall z \in \bar{D}, \quad (4)$$

$$\sum_{n=-3}^3 \Delta_n(z) < 2m(z), \text{ при } \forall z \in \bar{D}, \quad (5)$$

ки дар ин ҷо

$$\Delta_n(z) = |a_n(z)|^2 - |b_n(z)|^2, \quad n = 0, \quad \pm 1, \pm 2, \pm 3;$$

$$M(z) = \max_{|t|=1} \operatorname{Re}[\alpha_1(z)t + \alpha_2(z)t^2 + \alpha_3(z)t^3],$$

$$-m(z) = \min_{|t|=1} \operatorname{Re}[\alpha_1(z)t + \alpha_2(z)t^2 + \alpha_3(z)t^3];$$

$$\alpha_1(z) = \bar{a}_{-1}a_0 - \bar{b}_{-1}b_0 + \bar{a}_{-2}a_{-1} - \bar{b}_{-2}b_{-1} + \bar{a}_{-3}a_{-2} - \bar{b}_{-3}b_{-2},$$

$$\alpha_2(z) = a_2\bar{a}_0 - b_2\bar{b}_0 + a_3\bar{a}_{-1} - b_3\bar{b}_{-1} + \bar{a}_{-2}a_0 - \bar{b}_{-2}b_0 + \bar{a}_{-3}a_{-1} - \bar{b}_{-3}b_{-1},$$

$$\alpha_3(z) = a_3\bar{a}_0 - b_3\bar{b}_0 + \bar{a}_{-3}a_0 - \bar{b}_{-3}b_0.$$

Маҷмӯи ҳамаи матритсаҳои полиномии шакли $\mathcal{G}_6(z, t)$: $\det \mathcal{G}_6(z, t) = |\mathcal{P}_6(z, t)|^2 - |\mathcal{Q}_6(z, t)|^2$, ки шарти $\det \mathcal{G}_6(z, t) > 0$ (< 0)-ро барои ҳамаи $z \in \bar{D}$ қонеъ мекунад, бо \mathcal{G}^+ (\mathcal{G}^-) ишора карда мешавад.

$$\mathcal{G}^+(0) \equiv \mathcal{G}_6^1, \quad \mathcal{G}^+(1) \equiv \mathcal{G}_6^2.$$

Ду матритсаи $\mathcal{G}_z^1, \mathcal{G}_z^2$ аз синфи \mathcal{G}^+ гомотопӣ номида мешаванд ва бо $\mathcal{G}_6^1 \sim \mathcal{G}_6^2$, ишора карда мешаванд, агар оилаи матритсаҳои полиномии $\mathcal{G}_6^+(\tau)$ аз \mathcal{G}^+ пайваста вобаста ба параметри воқеии $\tau: 0 \leq \tau \leq 1$ вуҷуд дошта бошад, ба тавре ки

$$\mathcal{G}^+(0) \equiv \mathcal{G}_6^1, \quad \mathcal{G}^+(1) \equiv \mathcal{G}_6^2.$$

Ду системаи эллиптикӣ аз маҷмӯи ҳамаи системаҳои эллиптикӣ (1) бо як қисми асосӣ, ки $\mathcal{G}_6(\sigma) \in \mathcal{G}^+$ метавонанд бо роҳи пайваста дар \mathcal{G}^+ пайваст карда шаванд, агар ва танҳо дар сурате, ки полиномҳои матритсавии хоси ин системаҳо гомотопӣ бошанд. $P(z, t)$ – полиномияи мураккаби бисёраъзогии дараҷаи сеюм аст. Бигзор $q_j(z)$ ($j = 1, 2, \dots, 6$) – решаҳои комплексии муодилаи

$$P(z, t) = 0 \quad (6)$$

бошанд.

$$\begin{aligned} & \Delta_0(z) \frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^3 \partial z^3} + \lambda_{0,1}(z) \frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^4 \partial z^2} + \lambda_{0,2}(z) \frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^5 \partial z} + \lambda_{0,3}(z) \frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^6} + \\ & + \mu_{0,1}(z) \left(\frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^4 \partial z^2} \right) + \mu_{0,2}(z) \left(\frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^5 \partial z} \right) + \mu_{0,3}(z) \left(\frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^6} \right) + T(\omega) = g(z), \end{aligned} \quad (9)$$

ки дар он $T(\omega)$ – оператори дифференсиалии тартиби пасттарин.

Маълум аст [1 саҳ. 122], ки ҳар як функсияи мураккаби синфи $W_p^6(D) \cap C^2(\bar{D})$, ($p > 2$), ки шартҳои якхелаи марзиро (3) дар марзи Γ қонё мекунад, метавонад дар шакли

$$\omega(z) = -\frac{1}{\pi} \iint_D G_6(z, \zeta) f(\zeta) ds_\zeta, \quad (10)$$

бо зичии худсаронаи мураккаби $f(z) \in L_p(D)$, $p > 1$, ифода карда шавад, ки дар он $G_6(z, \zeta)$ функсияи Грини муодилаи $\Delta^3 \omega \equiv \frac{\partial^6 \omega}{\partial z^3 \partial \bar{z}^3} = 0$ дар домени маҳдуди $D = \{z: |z| < 1\}$ аст:

$$\begin{aligned} G_6(z, \zeta) = & \frac{|\zeta - z|^4}{4\pi} \ln \left| \frac{1 - z\bar{\zeta}}{\zeta - z} \right|^2 - |\zeta - z|^2 (1 - |z|^2)(1 - |\zeta|^2) + \\ & + \frac{1}{2} (1 - |z|^2)^2 (1 - |\zeta|^2)^2. \end{aligned}$$

Биёед ҳосилаҳои функсияи $\omega(z)$ -ро ҳисоб кунем. Албатта, ҳамаи ҳосилаҳои функсияи $\omega(z)$ нисбат ба z ва \bar{z} то тартиби 5 операторҳои интегралро бо ядроҳои пайваста ё ядроҳои, ки сингулярятҳои заиф доранд, медиҳанд ва аз ин рӯ, операторҳои комилан пайваста дар $L_p(D)$ ($1 < p < \infty$) мебошанд.[2, саҳ.37],

Мо гузориши зеринро қорӣ мекунем.

$$\begin{aligned} \sigma_0(z, \bar{\zeta}) &= \frac{1}{4\pi} |\zeta - z|^4 \ln |\zeta - z|^2, \\ \sigma_1(z, \bar{\zeta}) &= -\frac{1}{4\pi} |\zeta - z|^4 \ln |1 - z\bar{\zeta}|^2 - \sum_{k=1}^2 \frac{(-1)^k}{k\pi} |\zeta - z|^{2(2-k)} [(1 - \\ & - |z|^2)(1 - |\zeta|^2)]^k, \\ (Uf)(z) &= \iint_D \sigma_0(z, \bar{\zeta}) f(\zeta) ds_\zeta, \quad (Vf)(z) = \iint_D \sigma_1(z, \bar{\zeta}) f(\zeta) ds_\zeta. \end{aligned}$$

Ҳисобкунии содда нишон медиҳад, ки

$$\frac{\partial^3 U}{\partial z^3} = -\frac{1}{2\pi} \iint_D \frac{(\bar{\zeta} - \bar{z})^2}{\zeta - z} f(\zeta) ds_\zeta. \quad (11)$$

Бо дифференциализатсияи баробарии (11) $3+n$ маротиба нисбат ба z ва $3-n$ маротиба нисбат ба \bar{z} , мо

$$\frac{\partial^6 U}{\partial z^{3+n} \partial \bar{z}^{3-n}} = \begin{cases} \frac{(-1)^{nn}}{\pi} \iint_D \frac{(\bar{\zeta} - \bar{z})^{n-1}}{(\zeta - z)^{n+1}} f(\zeta) ds_\zeta \equiv (S_{-n}f)(z), & \text{агар } n = 1, 2, 3; \\ f(z), & \text{агар } n = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Акнун мо ба оператори $(Vf)(z)$ мегузарем. Бо дифференциализатсияи V нисбат ба z $3+n$ маротиба ва нисбат ба $3-n$ маротиба \bar{z} , мо мебинем

$$\frac{\partial^6 V}{\partial z^{3+n} \partial \bar{z}^{3-n}} = \iint_D K_{v_0, n}(z, \bar{\zeta}) f(\zeta) ds_\zeta, n = 1, 2, 3,$$

ки дар он ядрои $K_{v_0, n}(z, \bar{\zeta})$ шакли

$$K_{v_0, n}(z, \bar{\zeta}) = \frac{(-1)^{3-n}}{2\pi \cdot (n-1)!} \sum_{k=0}^2 C_{3+n}^k (-1)^k 2 \dots (3-k) \cdot (2+n-k)! \times \quad (13)$$

$$\times \frac{(\zeta - z)^{2-k} (\bar{\zeta} - \bar{z})^{n-1} \bar{\zeta}^{3+n-k}}{(1 - z\bar{\zeta})^{3+n-k}}$$

-ро меёбем (13) ғайр аз ин, агар нуқтаи ζ ба сарҳади доираи воҳидии Γ яъне $|\zeta| = 1$ афтад, пас

$$\frac{(\zeta - z)^{2-k} (\bar{\zeta} - \bar{z})^{n-1} \bar{\zeta}^{3+n-k}}{(1 - z\bar{\zeta})^{3+n-k}} = \frac{(\bar{\zeta} - \bar{z})^{n-1}}{(\zeta - z)^{n+1}}.$$

Бо гузоштани қиматҳои ҳосилаҳои (12), (13) ба муодилаи дифференсиалии аслий (8), барои муайян кардани функсияи $f(z)$, мо муодилаи интегралӣ дученака ва сингулярии зеринро ба даст меорем:

$$(A_0 f)(z) \equiv \Delta_0(z) f(z) + \sum_{n=1}^3 \lambda_{0, n}(z) (S_{-n}^* f)(z) + \mu_{0, n}(z) \overline{(S_{-n}^* f)(z)} + (Tf)(z) = g(z), \quad (14)$$

ки дар он

$$(S_n^* f)(z) = \iint_D K_{3+n, 3-n}(z, \zeta) f(\zeta) ds_\zeta,$$

$$K_{3+n, 3-n}(z, \zeta) = \frac{(-1)^{nn}}{\pi} \left(\frac{(\bar{\zeta} - \bar{z})^{n-1}}{(\zeta - z)^{n+1}} + K_{n_0, n}(z, \bar{\zeta}) \right), n = 1, 2, 3,$$

T – оператори комилан муттасил дар $L^p(D)$, $p > 2$ мебошад. [3, саҳ.23].

Дар ин ҷо бояд қайд кард, ки оператори интегралӣ бо ядрои $K_{3+n,3-n}(z, \bar{\zeta})$ дар нуқтаҳои дохилии домени D сингулярӣ тартиби 2 дорад, аз ин рӯ интеграл бояд ба маънои арзиши асосии Коши фаҳмида шавад. Дар мавриди нуқтаҳои марзӣ, яъне вақте ки $\zeta \in \Gamma$, $\bar{\zeta} = 1/\zeta$, ба осонӣ метавон тасдиқ кард, ки дар ин ҳолат $K_{3+n,3-n}(z, \bar{\zeta}) = 0$ аст. Муодилаи интегралӣ (7) ба муодилаҳои интегралӣ дученака сингулярӣ бо хусусиятҳои ҷуфт дар домени маҳдуд тааллуқ дорад, ки дар [5, саҳ.114] омӯхта шудаанд. Рамзи матритса, ки ба оператори A_0 мувофиқ аст, шакли зеринро дорад:

$$\mathcal{G}_{A_0}^0(z, t) = \begin{pmatrix} \Delta_0(z) + \sum_{n=1}^3 \lambda_{0,n}(z)t^n & \sum_{n=1}^3 \mu_{0,n}(z)\bar{t}^n \\ \sum_{n=1}^3 \overline{\mu_{0,n}(z)}t^n & \Delta_0(z) + \sum_{n=1}^3 \overline{\lambda_{0,n}(z)}\bar{t}^n \end{pmatrix}, z \in \bar{D}, |t| = 1.$$

Бар асоси натиҷаҳои А. Чураев [8, саҳ.65], барои он ки оператори A^0 Нетерӣ бошад, зарур ва кифоя аст, ки матритсаҳои $\mathcal{G}_{A_0}^0(\tau, t)$ ($\tau \in \Gamma$, $|t| = 1$) дорои индексҳои қисман сифр бошанд. Аз рамзи $\mathcal{G}_{A_0}(z, t)$ мо матритсаи $\mathcal{G}_{A_0}(\tau, t)$ -ро месозем, ки дар он $\tau \in \Gamma$, $|t| = 1$ аст. Нишон дода шудааст, ки намояндагии зерин барои $\mathcal{G}_{A_0}(\tau, t)$ иҷро мешавад:

$$\mathcal{G}_{A_0}(\tau, t) = R_0^-(\tau, t)R_0^+(\tau, t),$$

ки дар он $R_0^-(\tau, t)$ нисбат ба тағйирёбандаи t то нимҳамвории поёнӣ аз ҷиҳати таҳлилӣ васеъшаванда аст ва $R_0^+(\tau, t)$ аз ҷиҳати таҳлилӣ то нимҳамвории болоӣ васеъшаванда аст ва муайянкунандагони онҳо дар ҳеҷ ҷо нопадид намешаванд, яъне матритсаи $\mathcal{G}_{A_0}(\tau, t)$ дорои индексҳои қисман сифр аст. Пас аз он аз бармеояд, ки оператори A_0 дар $L^p(D)$ ($1 < p < \infty$) аст, [8, саҳ.82].

Баъдан, мо индекси оператори A_0 -ро ҳисоб мекунем. Азбаски полином $P(z, t)$ дар дохили доираи воҳидӣ $|t| < 1$ реша надорад, онро метавон чунин ифода кард:

$$P(z, t) = \lambda_{0,n}(z) \prod_{j=1}^3 (t - q_j^-(z)),$$

ки дар он $|q_j^-(z)| > 1$. Бо дарназардошти ин, мо оилаи функцияҳои матритсаро месозем

$$\mathcal{G}_{A_0^\rho}(z, t, \rho) = \begin{pmatrix} \mathcal{P}(z, t, \rho) & \mathcal{Q}(z, t, \rho) \\ \mathcal{Q}(z, t, \rho) & \mathcal{P}(z, t, \rho) \end{pmatrix},$$

вобаста ба параметри $\rho: 0 \leq \rho \leq 1$ пайваста, ки дар он

$$(z, t, \rho) = \lambda_{0,n}(z) \prod_{j=1}^3 (\rho t - q_j^-(z))$$

$$\mathcal{Q}(z, t, \rho) \rho \varphi(\rho) \mathcal{Q}(z, t), 0 \leq \rho \leq 1,$$

$$\varphi(x) = \begin{cases} \frac{\varepsilon}{N}, & \text{ҳангоми } 0 \leq \rho \leq \rho_0 < 1, \\ \frac{1}{N} \left(\varepsilon + \frac{N - \varepsilon}{1 - \tau_0} \right) (\rho - \tau_0), & \text{ҳангоми } \rho_0 \leq \rho \leq 1, \end{cases}$$

τ_0 адади воқеӣ аст, ки ба 1 наздик аст,

$$N = \sup |P(z, t, \tau)|, \quad \varepsilon = \inf |Q(z, t, \tau)|,$$

ки дар он супремум (инфимум) аз болои ҳамаи $z \in \bar{D}, |t| = 1, 0 \leq \rho \leq 1$ гирифта мешавад. Бо истифода аз матритсаҳои $\mathcal{G}_{A_0^\rho}(z, t, \rho)$, мо оилаи операторҳои интегралӣ $A_\rho^0, 0 \leq \rho \leq 1$ -и шакли (8)-ро месозем. Ба осонӣ дидан мумкин аст, ки

$$|\mathcal{P}(z, t, \rho)| > |\mathcal{Q}(z, t, \rho)|,$$

ва

$$\text{Ind}_{|t|=1} F(z, t, \rho) = 0, \forall z \in \bar{D}, |t| = 1, 0 \leq \rho \leq 1, \text{Ind}_{|t|=1} F(z, t, \rho) = 0,$$

$\forall z \in \bar{D}, |t| = 1, 0 \leq \rho \leq 1$, , яъне операторҳои A_ρ^0 н мебошанд. Азбаски $A_1^0 = A_0$ ва $A_0^0 = -\Delta_0(z) q_1^-(z) \cdot q_2^-(z) \cdot q_3^-(z) I$ индекси оператори A_0 сифр аст.

Теоремаи 1. Бигзор матритсаи $\mathcal{G}_z(t)$ аз \mathcal{G}^+ ба синфи гомотопӣ ν_0 тааллуқ дошта бошад. Барои он ки масъалаи (9) барои системаи эллиптикӣ (8) дар синфи $W_p^6(D) \cap C^2(\bar{D})$ ($2 < p < \infty$) Фредҳолм бошад, зарур ва кофӣ аст, ки шарт

$$\Delta_j(z) > M(z) + \left(M^2(z) + \sum_{\substack{n=0 \\ n \neq j}}^3 |\mu_{j,n}(z)|^2 - |\lambda_{j,n}(z)|^2 \right)^{1/2} \quad \forall z \in \bar{D}, \quad (15)$$

2. Акнун бигзор $\mathcal{G}_z(t)$ аз \mathcal{G}^+ ба синфи гомотопии ν_j ($j = \pm 1, \pm 2, \pm 3$) тааллуқ дошта бошад. Пас, мувофиқи Леммаи 2, мо $\Delta_j(z) = |a_j(z)|^2 - |b_j(z)|^2 > 0$ барои ҳамаи $z \in \bar{D}$ дорем. Бо нест кардани миқдори $\frac{\partial^6 \bar{w}}{\partial z^{3+j} \partial \bar{z}^{3-j}}$, аз муодилаи (1), мо барои ҳама гуна система аз синфи гомотопия ба қайдгирии зерин мерасем ν_j ($j = 1, 2, 3$)

$$\Delta_j(z) \frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^{3+j} \partial z^{3-j}} + \sum_{\substack{n=0 \\ n \neq j}}^3 \lambda_{j,n}(z) \frac{\partial^6 \omega}{\partial \bar{z}^{3+n} \partial z^{3-n}} + \mu_{j,n}(z) \frac{\partial^6 \bar{\omega}}{\partial z^{3+n} \partial \bar{z}^{3-n}}. \quad (16)$$

Бо гузоштани қиматҳои ҳосилаҳои (12), (13) ба муодилаи дифференсиалии (16), барои муайян кардани функсияи $f(z)$ мо муодилаи интегралӣ дученака ва сингулярии зеринро ба даст меорем:

$$(A_j f)(z) \equiv \Delta_j(z)(S_j^* f)(z) + \sum_{\substack{n=0 \\ n \neq j}}^3 \lambda_{j,n}(z)(S_{-n}^* f)(z) + \mu_{j,n}(z) \overline{(S_{-n}^* f)}(z) + (Tf)(z) = g(z), \quad (17)$$

ки дар он барои $n=0$ ифодаи $(S_0^* f)(z)$ маънои $f(z)$ -ро дорад.

Баъдан, бо истифода аз аломати $\mathcal{G}_{A_j}(z, t)$ функсияи матритсаи сарҳадӣ месозем.

$$\mathcal{G}_{A_j}(\tau, t) = \begin{pmatrix} \mathcal{P}(\tau, t) & \mathcal{Q}(\tau, t) \\ \mathcal{Q}(\tau, t) & \mathcal{P}(\tau, t) \end{pmatrix},$$

ки дар кучо

$$\mathcal{P}(\tau, t) = \Delta_j(\tau) t^j + \sum_{n=0, n \neq j}^3 \lambda_{j,n}(\tau) t^n,$$

$$\mathcal{Q}(\tau, t) = \sum_{n=0, n \neq j}^3 \mu_{j,n}(\tau) \bar{t}^n, \quad \tau \in \Gamma, \quad |t| = 1.$$

Муқаррар карда шудааст, ки матритсаи $\mathcal{G}_{A_j}(\tau, t)$ ба шарти $\mu_{j,0}(\tau) = \overline{a_j(\tau) b_0(\tau) - b_j(\tau) \overline{a_0(\tau)}} \neq 0 \quad \forall \tau \in \Gamma$ бо сифр нишондиҳандаҳои қисман нишондиҳандаҳои $\mathcal{G}_{A_j}(\tau, t) = R_j^-(\tau, t) R_j^+(\tau, t)$ омилӣ мекунад, ки дар он матритсаи $R_j^+(\tau, t)$ аз ҷиҳати таҳлилӣ дар дохили диски воҳиди $|t| \leq 1$ идомапазир аст ва сифрҳои муайянкунандаи он дар беруни диск ҷойгиранд ва $R_j^-(\tau, t)$ аз ҷиҳати таҳлилӣ дар беруни диски воҳиди $|t| \leq 1$ идомапазир аст ва сифрҳои муайянкунандаи он дар дохили доираи $|t| \leq 1$ ҷойгиранд ва шарт $\mu_{j,0}(\tau) \neq 0 \quad \tau \in \Gamma$ барои он зарур аст, ки оператори A_j дар фазои $L_{\beta-2/p}^p(D)$ нотерӣ бошад. [9, сах.55]

Акнун биёед ба ҳисобкунии индекси оператори A_j гузарем. Оператори A ба синфи ν_j тааллуқ дорад ва шарти (10) иҷро мешавад ва $Ind_{|t|=1} F(z, t) = j \neq 0, \quad (j = 1, 2, 3)$ аст. Пас, полиномии $P(z, t)$ дорои j сифрҳои $q_k^+(z)$ ($k = 1, \dots, j$) дар дохили доираи $|t| \leq 1$ ва $3 - j$ сифрҳои $q_k^-(z)$ ($k = j + 1, \dots, 3$) дар беруни доираи $|t| \leq 1$ мебошад. Аз ин рӯ, $F(z, t)$ - ро метавон чунин ифода кард:

$$\mathcal{P}(z, t) = \lambda_{j,n}(z) \prod_{k=1}^j (t - q_k^+(z)) \prod_{k=j+1}^3 (t - q_k^-(z)),$$

Бо назардошти ин, мо як оилаи функцияҳои матритсаро месозем:

$$\mathcal{G}_{A_j^\tau}(z, t, \rho) = \begin{pmatrix} \mathcal{P}(z, t, \rho) & \mathcal{Q}(z, t, \rho) \\ \overline{\mathcal{Q}(z, t, \rho)} & \overline{\mathcal{P}(z, t, \rho)} \end{pmatrix},$$

пайваста вобаста ба параметри ρ : $0 \leq \tau \leq 1$, ки дар он

$$\mathcal{P}(z, t, \rho) = \lambda_{j,n}(z) \prod_{k=1}^j (t - \tau q_k^+(z)) \prod_{k=j+1}^3 (\tau t - q_k^-(z)),$$

$$\mathcal{Q}(z, t, \rho) = \mu_{j,0}(z) + \tau \varphi(\rho) \left(\sum_{n=1, n \neq 0, j}^3 \mu_{j,n}(z) \bar{t}^n \right), \quad z \in \bar{D},$$

ва $\varphi(\tau)$ ҳамон тавре ки дар ҳолати қаблӣ муайян шудааст.

Акнун, ки бо истифода аз матритсаҳои $\mathcal{G}_{A_j}(z, t, \rho)$ оилаи операторҳои интегралӣ A_j^τ $0 \leq \tau \leq 1$ навъи (1)-ро сохтаем, мо қайд мекунем, ки онҳо п мебошанд, зеро

$$|\mathcal{P}(z, t, \rho)| > |\mathcal{Q}(z, t, \rho)|, \quad \forall z \in \bar{D}, \quad 0 \leq \rho \leq 1, \quad \text{ва} \quad \mu_{j,0}(z) \neq 0, \quad z \in \Gamma.$$

$$\text{Азбаски } A_j^1 = A_j \text{ ва } A_j^0 = \lambda_{j,n}(z) q_{j+1}^+(z) \dots q_3^+(z) S_{-j} + \mu_{j,0}(z) K,$$

пас, бо татбиқи натиҷаҳои [5-сах.56] ба оператори A_j^0 , мо мегирем, ки индекси оператори A ба $\kappa = -2j \text{Ind}_\Gamma \mu_{j,0}(\tau)$ баробар аст.

Теоремаи 2. Бигзор матритсаи $\mathcal{G}_z(t)$ аз \mathcal{G}^+ ба синфи гомотопии ν_j ($j = \pm 1, \pm 2, \pm 3$). тааллуқ дошта бошад. Барои масъалаи (9) барои системаи эллиптикӣ (16) дар синфи $W_p^6(D) \cap C^2(\bar{D})$ ($2 < p < \infty$) ниётерӣ будан, зарур ва кофӣ аст, ки шарти

$$\begin{aligned} \Delta_j(z) &> M(z) + \left(M^2(z) + \sum_{n=0, n \neq j}^3 |\mu_{j,n}(z)|^2 - |\lambda_{j,n}(z)|^2 \right)^{1/2} \\ &\text{и } \mu_{j,n}(\tau) \neq 0 \quad \text{для } \forall z \in \bar{D}, \quad \tau \in \Gamma, \end{aligned} \quad (18)$$

ки дар он

$$\lambda_{j,n}(z) = \overline{a_j(z)} a_n(z) - b_j(z) \overline{b_n(z)}, \quad \mu_{j,n}(z) = \overline{a_j(z)} b_n(z) - b_j(z) \overline{a_n(z)}.$$

Ғайр аз ин, агар (18) қонеъ карда шавад, пас индекси масъала чунин аст:

$$\kappa = -2j \text{Ind}_\Gamma \mu_{j,0}(\tau),$$

Натиҷаи монанд барои масъалаи Нейман барои муодилаи (1) низ риоя мешавад.

4. Масъалаи дуҷони сарҳадӣ

Масъалаи Нейман. Функцияи $\omega(z)$ -ро аз синфи $W_p^6(D) \cap C^2(\bar{D})$ – ро ёбед, ки муодилаи (1)-ро дар дохили D ва шартҳои сарҳадии Γ -ро дар сарҳади он қонеъ гардонад.

$$\frac{\partial^j \omega}{\partial n^j} |_{\Gamma} = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad (19),$$

ки дар он $\frac{\partial \omega}{\partial n}$ ҳосилаи $\omega(z)$ -ро дар самти нормали беруна дар нуқтаҳои контури Γ нишон медиҳад. [9, саҳ.120].

Акнун, ба ҷои намоёндагии (20), мо намоёндагии функцияҳоеро истифода мебарем, ки шартҳои m -ро (26) қонеъ мекунамд, мувофиқи формулаи

$$\omega(z) = \iint_D N_3(z, \bar{\zeta}) f(\zeta) ds_{\zeta}, \quad (20)$$

ки дар он

$$N_3(z, \bar{\zeta}) = \frac{1}{2\pi} |\zeta - z|^4 \ln |(\zeta - z)(1 - z\bar{\zeta})|^2 + g_3(z, \bar{\zeta})$$

функцияи Неймани муодилаи $\Delta^m \omega \equiv \frac{\partial^m \omega}{\partial z^m \partial \bar{z}^m} = 0$ дар диски воҳидии $\{z: |z| < 1\}$ ва барои $m \geq 2$ ин функцияҳо бо формулаи такрорӣ муайян карда мешаванд.

$$\frac{\partial^2 N_3(z, \bar{\zeta})}{\partial z \partial \bar{z}} = N_2(z, \bar{\zeta}).$$

Мисли масъалаи Дирихле, масъалаи Нейман (26), (27) ба муодилаҳои интегралӣ сингулярӣ бо шакли (23) баробар карда мешавад, [10, саҳ.121].

Адабиёт:

1. Векуа И.Н. Новые методы решения эллиптических уравнений, М.–Л., 1948. 296с.
2. Векуа И.Н. Системы дифференциальных уравнений первого порядка эллиптического типа и граничные задачи с применением к теории оболочек. 1952 Матем. сб. т. 31 (73), 2, с. 217–314.
3. Векуа И.Н. Обобщенные аналитические функции. - М.: Физматгиз, 1959, 672 с.
4. Боярский Б. В. Некоторые граничные задачи для системы $2n$ уравнений эллиптического типа на плоскости, 1957. ДАН СССР. т.124, 1.

5. *Боярский Б. В.* Исследования по уравнениям эллиптического типа на плоскости и граничным задачам теории функций. Дисс. докт. физ.-мат.наук. Москва 1960.
6. *Вольперт А. И.* Исследование граничных задач для эллиптических систем дифференциальных уравнений на плоскости, ДАН СССР т. 114, 3, 1957, с. 462–464.
7. *Виноградов В.С.* Об ограниченности решений краевых задач для линейных эллиптических систем первого порядка на плоскости, ДАН СССР 1958. Том 121, 3.
8. *Джураев А.Д.* Метод сингулярных интегральных уравнений. - М.: Наука, 1987, 415 с.
9. *Дыбов П. Т.* О разрешимости первой краевой задачи для дифференциального уравнения эллиптического типа шестого порядка, ДАН СССР, 1972, том 202, 6, с. 1251–1253.
10. *Джангибеков Г.* Об одном классе двумерных сингулярных интегральных операторов и его приложениях к краевым задачам для эллиптических систем уравнений на плоскости. Док. РАН, 1993, т. 330, 4, с. 415–417.

ҲАЛШАВАНДАГИИ МАСЪАЛАҶОИ КАНОР БАРОИ БАЪЗЕ СИСТЕМАҶОИ МУОДИЛАҶОИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ЭЛЛИПТИКИИ ТАРТИБИ ШАШ ДАР ҲАМВОРӢ

Физиурда. Дар мақола ҳалшавандагии масъалаи Дирихле барои системаҳои ду муодилаҳои дифференсиалии эллиптикӣ аз ду тағйирёбандаҳои новобастаи тартиби шаш дар соҳаи маҳдуд омӯхта мешавад. Бо усули ба таври эквивалентӣ гузаштан ба муодилаҳои интегралӣ сингулярӣ аз рӯи соҳаи маҳдуд шартҳои эффе́ктивноки нётровӣ будан ёфта шуда, формула барои ҳисоб намудани индекси масъала ҳосил карда шудааст.

Калидвожаҳо: масъалаи Дирихле, нётеровӣ будан, индекси масъала, интегралӣ сингулярӣ.

ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ И НЕЙМАНА ДЛЯ ОБЩИХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ШЕСТОГО ПОРЯДКА НА ПЛОСКОСТИ

Аннотация. В работе изучается вопрос разрешимости задачи Дирихле для эллиптической системы двух уравнений с двумя независимыми переменными шестого порядка по ограниченной области. Методом перехода к эквивалентному сингулярному интегральному уравнению по ограниченной области найдены эффективные условия нётеровости и получена формула для подсчета индекса задачи.

Ключевые слова: Задача Дирихле, нётеровость, индекс задачи, сингулярный интеграл.

SOLVABILITY OF BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR CERTAIN SYSTEMS OF SIXTH-ORDER ELLIPTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS ON THE PLANE

Annotation. In this note we consider of the Dirichlet problem for some elliptic systems of sixes-order with two functions of two variables differential equations in the pline. The may be reduced, in an equivalent way, to two-dimensional singular integral equations in the simply connected domain in the complex pline. For this systems is given effective necessary and sufficient conditions for the property Neter obtained along with a formula for computing the index of the Dirichlet problem.

Keywords: Dirichlet problem, Noetherian property, operator index, singular integral

Маълумот дар бораи муаллифон:

Файззода Кишвар Шоҳпулод – Донишгоҳи давлатии Данғара, доктори фалсафа (Ph.D) муаллими калони кафедраи математикаи олий. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кўчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 908992298. **E-mail:** Fayzzoda_1996@mail.ru.

Сведения об авторах:

Файззода Кишвар Шоҳпулод – Дангаринский государственный университет, докторант (Ph.D) кафедры высшей математики. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, р. Дангара, ул. Маркази, 25. **Телефон:** (+992) 908992298. **E-mail:** Fayzzoda_1996@mail.ru.

Information about the author:

Fayzzoda Kishvar SHohpulot– Doctor (Ph.D), Departament of Higher Mathematics, Dangara state University. **Address:** The Republic of Tajikistan, Dangara. Markazi Street, 25. **Phone:** (+992) 908992298. **E-mail:** Fayzzoda_1996@mail.ru.

Муқарриз: Каримов А.Ғ. – н.и.ф.-м., дотсенти кафедраи математикаи олии Донишгоҳи давлатии Данғара

Мақола ба редакция ворид шуд: 05.01.2026

Аз тақриз баргашт: 03.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 05.03.2026

УДК: 519.6: 004.9: 531.4

**МЕТОДИКАИ ТАТБИҚИ МОДЕЛСОЗИИ МАТЕМАТИКӢ ВА
КОМПЮТЕРИИ УСТУВОРИЯТИ КРИТЕРИЯИ ЛЯПУНОВ БО
МУОДИЛАИ ХАРАКТЕРИСТИКИИ ТАРТИБИ СЕӢОМ**

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

Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав

***Донишгоҳи миллии Тоҷикистон**

****Донишгоҳи давлатии Данғара**

Моделсозии математикӣ ва компютерӣ ҳам барои омӯзиши масъалаҳои назариявӣ ва ҳам барои татбиқи амалии онҳо, аз ҷумла дар самти гузаронидани тадқиқотҳои илмӣ аҳамияти аввалиндараҷа дорад. Зеро ки моделсозии математикии компютерӣ ба татқиқотчиён то он дараҷае имконият фароҳам меоварад, ки равандҳои мураккаби илмиро ба шакли нисбатан сода ва фаҳмо оварда, инчунин натиҷаҳои минбаъдари низ метавонанд пешгӯӣ намоянд.

Моделсозӣ яке аз усулҳои асосии тезонидани прогресси техникӣ, кам кардани муҳлати азхудкунии хелҳои нави таҷҳизот ва равандҳои нав мебошад [1, с. 7].

Дар замони муосир моделсозии математикӣ ва компютерӣ дар ҳалли масъалаҳои гуногуни илмӣ, фанӣ ва масъалаҳои ҳаёти мақоми хосаро касб намудааст. Масъалаҳои гуногунҷабҳаи илмӣ, фанӣ ва масъалаҳои ҳаёти бо воситаи моделсозии математикӣ ва компютерӣ роҳандозӣ мегарданд.

Ҳангоми моделсозии компютерӣ андозаи бузургиро муайян кардан мумкин аст [2, с. 73].

Моделсозии математикӣ ва компютерӣ ҳамчун усули тадқиқот воситаи пурқуввати маърифат дар ҳалли масъалаҳои таълимӣ оид ба рушди зеҳнии муҳандисон, татқиқотчиён, олимон, омӯзгорон ва ғайраҳо роҳандозӣ мегардад.

Татқиқотчиё ё муҳандиси технологияи иттилоотӣ дар баробари ҳалли мисолу масъалаҳои худ, ки онҳо хоҳ илмӣ, хоҳ таълимӣ ва ё технологӣ бошанд, доимо кӯшиш ба харҷ медиҳад, ки моделҳои масъалаҳои муоинакардашудаи худро дар муҳити ягон забони барномасозии савияи баланд созад ва аз он барои қонеъ гардонидани талаботи гузошташудаи худ, ки дар асоси гузориши ҳалли масъалаҳо бар меоянд, ҳамеша истифода намояд [3, с. 262].

Ягон амсила (модел) наметавонад ҳуди объектро ба пуррагӣ иваз намояд. Вале ҳангоми ҳалли масъалаи мушаххас, хоса вақте ки диққати моро хосиятҳои муайяни объекти тадқиқшаванда ба худ ҷалб менамояд, амсила (модел) метавонад бисёр афзори муфиди тадқиқотӣ ва ҳатто баъзан афзори ягона бошад [4, с. 51].

Принсипҳои асосии татбиқи моделсозии математикии компютерӣ — мувофиқаткунии натиҷаҳои гирифташуда бо воқеияти гузориши ҳалли масъала,

пешгӯиҳо дар асоси гузаронидани санчишҳо, самаранокии таҳлилҳои илмӣ ва раванди сайқал додани омӯзишро таъмин менамояд.

Дар замони муосир татбиқи моделсозии математикӣ бо истифодабарии барномаҳои компютерӣ, аз ҷумла бо воситаи нармафзорҳои визуалӣ амалӣ мегарданд, ки омӯзиш ва таҳлили шаклҳоро осон менамояд, муоина намудан мумкин аст.

Татбиқи моделсозии математикӣ ва компютерӣ дар раванди ҳалли масъалаҳо ҳамчун усули таҳқиқот барои такмилдиҳии донишҳои назариявӣ ва амалӣ дар тури таърихи рушди инсоният баррасӣ гардидааст [5, с. 5].

Устуворияти критерияи Ляпуновро бо воситаи моделсозии математикӣ ва компютерӣ дар намуди муодилаи характеристикаи тартиби сеюм баррасӣ менамоем. Устуворият аз рӯи критерияи Ляпунов дар системаҳои идоракунӣ бо муодилаҳои характеристикаӣ тасвир меёбанд, татбиқ мекунем.

Акнун бо воситаи моделсозии математикӣ ва компютерӣ муодилаи характеристикаи тартиби сеюми намуди $x^3 + 3x^2 + 2.75x + 0.75 = 0$ - ро баррасӣ менамоем.

Ҳал. Решаҳои муодилаи характеристикаро меёбем, ки раванди ҳалли он чунин аст:

$$x^3 + 3x^2 + 2.75x + 0.75 = 0$$

Муодилаи характеристикаи додашударо ба ду муодилаи зерин ҷудо кардан мумкин аст, ки яке аз онҳо хаттӣ ва дигараш ғайрихаттӣ мебошад.

$$x+1=0 \text{ ва } x^2 + 2x + 0.75 = 0,$$

$$x+1=0,$$

$$x_1 = -1.$$

Аз муодилаи $x^2 + 2x + 0.75 = 0$ ё $x^2 + 2x + \frac{3}{4} = 0$ решаҳои онро меёбем.

Ҳал. $a = 1$; $b = 2$; $c = 0.75$;

Дискриминантро ҳисоб мекунем:

$$d = b^2 - 4 * a * c = 2^2 - 4 * 1 * 0.75 = 4 - 3 = 1 > 0.$$

Муодилаи додашуда дорои ду реша аст.

Акнун решаҳои x_2 ва x_3 - ро муайян менамоем:

$$x_2 = \frac{-b + \sqrt{D}}{2 * a} = \frac{-2 + \sqrt{1}}{2 * 1} = \frac{-2 + 1}{2} = \frac{-1}{2} = -0.5,$$

$$x_3 = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a} = \frac{-2 - \sqrt{1}}{2 * 1} = \frac{-2 - 1}{2} = \frac{-3}{2} = -1.5.$$

Ҷавоб: $x_2 = -0.5$, $x_3 = -1.5$.

Акнун муодилаҳои $x+1=0$ ва $x^2 + 2x + 0.75 = 0$ - ро аъзо ба аъзо зарб намуда, муодилаи характеристикаи тартиби сеюмро ба даст меоварем.

$$(x+1)(x^2+2x+0.75)=0,$$

$$x^3+2x^2+0.75x+x^2+2x+0.75=0,$$

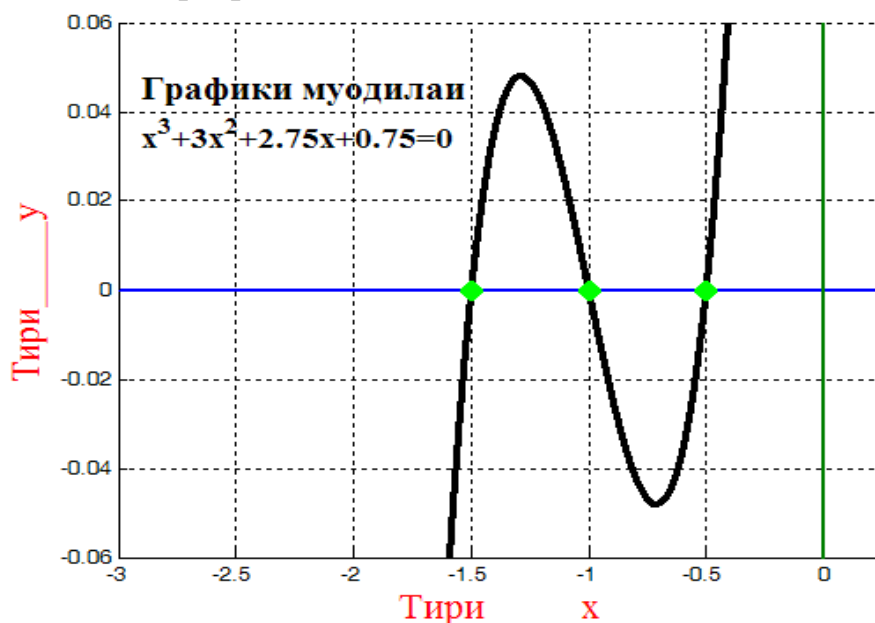
$$x^3+3x^2+2.75x+0.75=0,$$

$$x^3+3x^2+2.75x+0.75=0.$$

Муодилаи характерикии тартиби сеюми намуди додашудаи $x^3+3x^2+2.75x+0.75=0$ дорои се реша аст.

Ҷавоб: $x_1 = -1, x_2 = -0.5, x_3 = -1.5$.

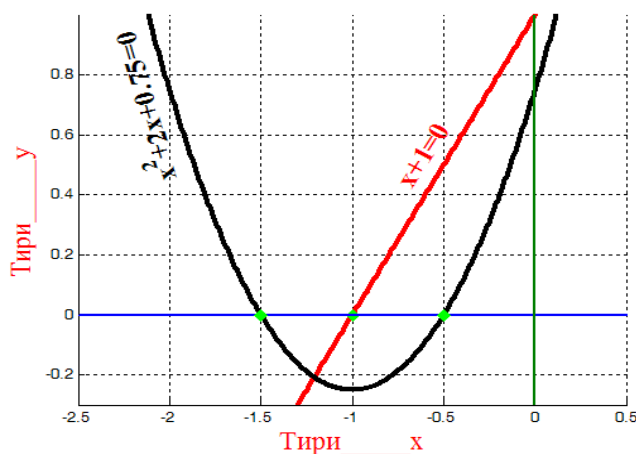
Натиҷаи коркарди алгоритми ҳалли масъалаи муоинашуда дар чунин шакл дар расми 1 тасвир ёфтааст:



Расми 1. Графики муодилаи $x^3+3x^2+2.75x+0.75=0$.

Раванди моделиронии графикаи муодилаи характерикии $x^3+3x^2+2.75x+0.75=0$ - ро бо усули ҷудокунии муодилаҳои зерин $x+1=0$ ва $x^2+2x+0.75=0$ дида мебароем.

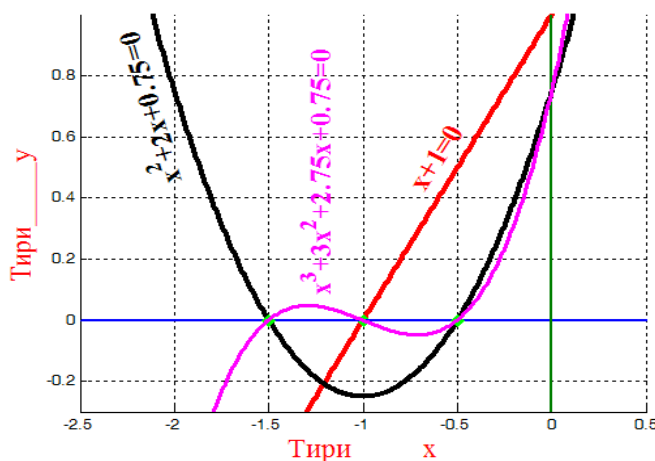
Натиҷаи коркарди алгоритми ҳалли масъалаи муоинашуда дар чунин шакл дар расми 2 тасвир ёфтааст:



Расми 2. Графики муодилаи $x + 1 = 0$ ва $x^2 + 2x + 0.75 = 0$.

Тасвири графики муодилаҳои $x + 1 = 0$, $x^2 + 2x + 0.75 = 0$ ва $x^3 + 3x^2 + 2.75x + 0.75 = 0$ - ро дар муҳити як равшана барои муайян намудани устуворияти он аз рӯйи критерия Ляпунов ҷойгир менамоем.

Натиҷаи коркарди алгоритми ҳалли масъалаи муоинашуда дар чунин шакл дар расми 3 тасвир ёфтааст



Расми 3. Графики муодилаи $x + 1 = 0$, $x^2 + 2x + 0.75 = 0$ ва $x^3 + 3x^2 + 2.75x + 0.75 = 0$

Ҳаминро қайд кардан мавриди зикр аст, ки мувофиқи тадбиқи устуворият аз рӯйи критерияи Ляпунов дар системаи идоракунӣ, ки муодилаи характеристикӣ тартиби сеюми намуди $x^3 + 3x^2 + 2.75x + 0.75 = 0$ - ро мавриди истифода қарор додаем, агар ҳамаи решаҳои муодилаи характеристикӣ додашуда манфӣ (минус (-)) бошанд, пас тадбиқи устуворият аз рӯйи критерияи Ляпунов устувор аст. Яъне, дар ин ҷо муодилаи характеристикӣ овардашуда устувор аст, зеро ҳар се решаи муодилаи характеристикӣ додашуда манфӣ (минус (-)) мебошанд. Муодилаи характеристикӣ тартиби сеюми додашудаи

намуди $x^3 + 3x^2 + 2.75x + 0.75 = 0$ дар муҳити барномаи MATLAB озмоиш гузаронида шудааст.

Адабиёт

1. *Вороненко Б.А., Крысин А.Г., Пеленко В.В., Цуранов О.А.* Введение в математическое моделирование: Учеб. - метод. пособие / *Б.А. Вороненко, А.Г. Крысин, В.В. Пеленко, О.А. Цуранов.* – СПб: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 44 с.
2. *Чӯраев Х.Ш.* Физикаи муҳитҳои конденсӣ (Дастурӣ таълимӣ). – Душанбе: - 2023. – 112с.
3. *Сатторов А. Э., Шарофиддин Ю., Чӯразода Х.Ш., Восидов Ш.Ю.* Моделсозии математикӣ ва компютерии устуворияти критерияи Ляпунов бо муодилаи характеристикӣ тартиби сеюм [Матн] / *А. Э. Сатторов., Ю. Шарофиддин., Х.Ш. Чӯразода., Ш.Ю. Восидов* // Маводи конференсияи илмӣ-амалии байналмилалӣ дар мавзӯи «Муаммоҳои муосири математика ва таълими он» бахшида ба «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (солҳои 2020-2040) ва 35-солагии Истиқлолияти давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон (қисми 1). 31 майи соли 2025 . Бохтар – 2025. – С. 262-264.
4. *Комилов Ф.С., Т. Розӣ (Шарипов), Мирзоев С.Х., Қосимов И.Л., Раҳмонов З.Ф.* Технологияи иттилоотӣ. Китоби дарсӣ барои синфи 11. – Душанбе: «Ганҷ нашриёт», 2014. – 280 с.
5. *Шарофиддин Юсуфӣ., Восидов Ш.Ю., Умаров А.Н.* Нақши disp дар татбиқи моделсозии математикӣ ва компютерии критерияи алгебравии устуворияти Гурвитс бо муодилаи характеристикӣ тартиби сеюм [Матн] / *Ю. Шарофиддин., Ш.Ю. Восидов., А.Н. Умаров* // Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. Бахши илмҳои табиӣ. 2025. № 4 (34). Данғара – 2025. – С. 5-13.

МЕТОДИКАИ ТАТБИҚИ МОДЕЛСОЗИИ МАТЕМАТИКӢ ВА КОМПЮТЕРИИ УСТУВОРИЯТИ КРИТЕРИЯИ ЛЯПУНОВ БО МУОДИЛАИ ХАРАКТЕРИСТИКӢИ ТАРТИБИ СЕЮМ

Фишурда. Дар мақолаи додашуда методикаи татбиқи моделсозии математикӣ ва компютерии устуворияти критерияи Ляпунов бо муодилаи характеристикӣ тартиби сеюм роҳандозӣ гардидааст, ки ба муҳандисон ва тадқиқотчиёни илмӣ имконият фароҳам меоварад, ки дар асоси шарти масъалаҳои гуногуни таълимӣ натиҷаи онро дар намуди модел инъикос намуда, аз модели ҳосилшуда натиҷагирӣ намоянд. Инчунин дар мақола шарти устуворияти критерияи Ляпунов бо воситаи татбиқи моделсозии математикӣ ва компютерӣ ҳамчун усули таҳқиқот, эҷодии илмӣ, техникӣ - барномавӣ баррасӣ шудааст.

Калидвожаҳо: моделсозӣ, компютер, устуворият, критерия, муодила.

**МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
КРИТЕРИЯ ЛЯПУНОВА С ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИМ УРАВНЕНИЕМ
ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА**

Аннотация. В данной статье реализована методика математического и компьютерного моделирования устойчивости критерия Ляпунова с характеристическим уравнением третьего порядка, позволяющая инженерам и научным исследователям на основе условий различных учебных задач отражать его результат в виде модели и делать выводы из полученной модели. Также в статье рассматривается условие устойчивости критерия Ляпунова с помощью применения математического и компьютерного моделирования как метода исследования, научного творчества, технико - программного обеспечения.

Ключевые слова: моделирования, компьютер, устойчивость, критерия, уравнения.

**METHOD FOR IMPLEMENTING MATHEMATICAL AND COMPUTER
MODELING OF THE STABILITY OF THE LYAPUNOV CRITERION WITH
A THIRD-ORDER CHARACTERISTIC EQUATION**

Annotation. This article implements a method of mathematical and computer modeling of the stability of the Lyapunov criterion with a third-order characteristic equation, which allows engineers and researchers to reflect its result in the form of a model based on the conditions of various educational tasks and draw conclusions from the resulting model. The article also discusses the condition of stability of the Lyapunov criterion through the use of mathematical and computer modeling as a method of research, scientific creativity, technical software.

Keywords: modeling, computer, stability, criteria, equations.

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

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

Восидов Шамсиддин Юсуфович – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, н.и.п., муаллими калони кафедраи мошинҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳо. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734025, шаҳри Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Телефон: +992 917 23 29 18. E-mail: shamsiddinnnn@mail.ru.

Умаров А.Н. - 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: Шарофиддин Юсуфи – Бохтарский государственный университет имени Носира Хусрава, ассистент кафедры методики преподавания математики (МПМ). Адрес: 735140, Республика Таджикистан, г. Бохтар, пр. Аини, 67. Телефон: +992 919127413. E-mail: sharofiddinnnn@mail.ru.

Джуразода Хайруллох Шароф – Таджикский национальный университет, д.ф.м.н., профессор кафедры вычислительных машин, систем и сетей. Адрес: 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, просп. Рудаки, 17. Телефон: (+992) 917-30-70-60. E-mail: hayrullo_58@mail.ru

Восидов Шамсиддин Юсуфович – Таджикский национальный университет, к.п.н., старший преподаватель кафедры вычислительных машин, систем и сетей. Адрес: Республика Таджикистан, 734025, город Душанбе, проспект Рудаки, 17. Телефон: +992 917 23 29 18. E-mail: shamsiddinnnn@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.

Dzhurazoda Khayrulloh Sharof – Tajik National University, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Department of Computing Machines, Systems and Networks. Address: 734025, Dushanbe city, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. Phone: (+992) 917-30-70-60. Email: hayrullo_58@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: shamsiddinnnn@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.

Мақола ба редакция ворид шуд: 06.01.2026

Аз тақриз баргашт: 09.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 02.03.2026

СОХТАНИ МОДЕЛИ КОНСЕПТУАЛӢ ВА МОДЕЛИ МАТЕМАТИКИИ БОҒҶОИ МЕВАДОР

Чалилов Х. М.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Моделҳои концептуалӣ ва математикии боғҷои мевадор барои пешгӯии равандҳои нашъунамо, ҳосилнокӣ, беҳтарнамоии нақшаи шинонидани дарахтҳо, идоракунии обёрӣ ва озӯкадиҳӣ, ҳимояи растанӣ аз касалиҳо, зараррасонҳо ва баҳодихии самаранокии иқтисодӣ истифода мешаванд. Барои расидан ба ин ҳадаф мо тасмим гирифтём, аввалан дар атрофи моделҳои мавҷуда баъзе маълумотҳоро гирд оварем, баъдан намунаи моделҳои концептуалӣ ва математикии ба мактаби илмии устод, профессори зиндаёд М. Юнусӣ хос бударо дар шакли дигар созем.

I. Шарҳи системавии моделҳои математикии мавҷуда.

Дар қисмати аввали мақолаи мазкур шарҳи системавии моделҳои математикии мавҷудаи боғҷои мевадор, дар шакли мухтасар – сар карда аз моделҳои динамикии классикӣ то боғҷои муосири рақамикунонидашуда, бо истифода аз зехни сунӣ оварда мешаванд. Онҳоро ба намудҳои зерин табақабандӣ менамоем [8].

1. Моделҳои биологӣ (физиологӣ)-и рушд ё модели рушди биомасса.

Ин модел рушди растаниҳоро ҳамчун системаи биологӣ моделсозӣ мекунад. Барои навиштани равандҳои фотосинтез, тақсимои ассимилятҳо (баргҳо, навдаҳо, ҳосил, реша), ҳавокашӣ ва ғайраҳо аз муодилаҳои дифференсиалӣ истифода менамоем

Мисол:

$$\frac{dB}{dt} = P - R - L;$$

дар ин ҷо, B - биомасса,

P - самаранокии фотосинтез,

R - ҳавокашӣ,

L – талафот.

2. Моделҳои динамикии агроэкологӣ ё модели таносуби обӣ.

Моделҳои динамикии агроэкологӣ алоқамандии байниҳамдигарии дарахтҳоро бо олами беруна инъикос менамоем [8].

Дар он муодилаи Пенман-Монтейта барои транспирация, захираи намнокии хок ва параметрҳои обёрӣ истифода мешаванд

Яъне

$$ET_0 = \frac{0,408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * u_2)}$$

дар ин ҷо,

ET_0 - бухоршавии истинодӣ [мм сут⁻¹];
 R_n – радиатсияи холис дар сатҳи растанӣ [МДж м⁻² сут⁻¹];
 G – зичии микдори гармии хок [МДж м⁻² сут⁻¹];
 T - ҳарорати миёнаи рузонаи ҳаво дар баландии 2м [°C];
 u_2 – суръати шамол дар баландии 2м [м с⁻¹];
 e_s – фишори буғи сершуда [кПа];
 e_a – фишори воқеии буғ [кПа];
 $(e_s - e_a)$ - норасоии фишори буғи сершуда [кПа];
 Δ - нишебии қачи фишори буғ [кПа°C⁻¹];
 γ – доимии психометрикӣ [кПа°C⁻¹];

3. Модели боғҳои ҳамвор ё модели геометрии кронҳо (қисми болоии дарахт).

Чунин моделҳо барои беҳтарнамоии нақшаи шинонидани дарахтҳо истифода мешаванд [9].

Моделҳои геометрӣ имконият медиҳанд, ки зичии байни дарахтҳо, тақсими равшанӣ, мавҷудияти радиатсия ва ғайраҳо баҳогузорӣ карда шаванд. Дар онҳо аз усулҳои мавҷудаи моделҳои радиатсионӣ (Ray-tracing), L-система барои генератсияи кронҳо, модели 3Д-и боғ истифода менамоянд [10].

4. Моделҳои популятсионии зараррасонҳо ва касалиҳо

Моделҳои популятсионии зараррасонҳо ва касалиҳо барои химояи биологии боғҳо истифода мешаванд. Чунин моделҳо ниҳоят муфассал аз ҷониби - олимони ватанӣ (М.Юнусӣ, Р.Одинаев, С.Одиназода, С.Мирзоев, А.Одинаев, Х.Маҳмадалиев, муаллиф ва дигарон) ва аз ҷониби олимони хориҷӣ (А.П.Михайлов, А.А.Самарский, Чон Эндрюз, Мак-Лоун, В. Вольтерра, А. Т. Лотки, Р. М. Мэй, Ю. М. Свирежева, Д. О. Логофет ва дигарон) омӯхта шудаанд [3.4].

Ду намунаи онро меорем:

а) Модели математикии мантикии рушди популятсияи зараррасонҳо намуди зеринро дорад

$$\frac{dN}{dt} = rN(1 - kN);$$

Дар ин ҷо, N - саршумори популятсия, t – вақт, k – коэффисиенти мутаносибият ва r – ченаки қобилияти дохилии популятсия мебошад.

Моделҳои мантикии рушди популятсияи ҳашаротҳо тавсиф мекунад, ки чӣ гуна шумораи онҳо бо мурури замон тағйир меёбад ва одатан бо истифода аз методҳои математикӣ барои пешгӯии "авҷҳо" ё устуворӣ, омилҳои асосии сатҳи таваллуд, ғавт ва шароити муҳити зистро дар бар мегиранд, тадқиқ мешаванд. Ин моделҳо барои муайян кардани намудҳо бо сатҳи пасти муқовимат, ки ба авҷгирии ногаҳонӣ майлдоранд, хизмат мекунанд.

Моделҳои мантикӣ аз ҷузъиётҳои асосии зерин иборат мебошад:

1. Марҳилаҳои рушд: тухм, кирмина, лупа, болиғ (имаго) – барои намудҳое, ки метаморфози пурра доранд ва ба осебпазирии омилҳои беруна таъсир мерасонанд;
2. Динамикаи популятсия: моделҳо тағйиротро аз миқдори кам то авҷ бо истифода аз параметрҳое, ки танзими популятсияро инъикос мекунанд, пешгӯӣ мекунанд;
3. Коэффисиентҳои устуворӣ: коэффисиентҳои хурд (дараҷаи паст) намудҳои паҳншавиро нишон медиҳанд ва коэффисиентҳои калон (дараҷаи баланд) популятсияи устуворро нишон медиҳад;
4. Таъсири муҳити зист: омилҳои муҳити зист (об, хӯрока, паррандаҳо, даррандаҳо, хушкӣ, серборишӣ) ба сатҳи зиндамонӣ ва рушд дар марҳилаҳои гуногун таъсир мерасонанд.

Ҳамин тариқ, модели мантиқӣ марҳилаҳои рушди биологиро бо параметрҳои математикӣ барои фаҳмидан ва пешгӯӣ кардани рафтори популятсияҳои ҳашароти зараррасон моделсозӣ мекунанд.

б) SIR-ҳои стохастикӣ – моделҳои намунаи касалиҳои дарахт;

5. Модели серҳосилӣ ва пешгӯии ҳосил

Аз факторҳои синну соли дарахт, параметрҳои обу ҳаво, миқдори гул, хушксолӣ, хунукзанӣ вобаста мебошад. Дар раванди тадқиқот аз усулҳои модели регрессионӣ, модели омузиши мошинӣ (XGBoost, Random Forest), шабакаҳои нейронӣ (LSTM барои қаторҳои вақтӣ) истифода мекунанд [9].

Модели пешгӯии ҳосилхезӣ ва ҳосилнокӣ як равиши ҳамачонибаест, ки аз маълумоти ҳок ва иқлим, аксҳои моҳвораӣ ва омилҳои агрономӣ барои эҷоди моделҳои математикӣ (регрессия ва логистикӣ) истифода мебарад, ки метавонанд потенциали ҳосилхезиро арзёбӣ кунанд ва ҳосили ояндаи зироатҳоро бо истифода аз формулаҳо ва усулҳои омӯрӣ пешгӯӣ кунанд, ки ин барои кишоварзии дақиқ ва идоракунии захираҳо муҳим аст.

6. Моделҳои математикӣ-иқтисодӣ

Моделҳои математикӣ-иқтисодӣ барои ҳисобу китоби муайянсозии санаи беҳтарини ғунучини ҳосил, арзиши нигоҳдорӣ, фойданоки, беҳтарнамоии харчи нуриҳои минералӣ, обёрӣ ва ҳимоя истифода карда мешаванд. Ҳангоми тадқиқот аз усулҳои барномасозии хаттӣ, барномасозии ғайрихаттӣ, барномасозии динамикӣ, усули Монте-Карло – моделсозии тавақаллят (риск), усули Эйлер-Кошӣ ва ғайраҳоро истифода мекунанд [11].

7. Нусхаҳои рақамии боғҳои мевадор

Сатҳи муосир ва ниҳоят баланди моделсозӣ имкон доданд, ки боғҳои мевадор дар шаклҳои нав, яъне шакли рақамии боғ сохта шаванд. Нусхаи рақамӣ – ин нусхаи айёнии боғ мебошад, ки он тавассути I_0T - датчик (механизмҳои назоратӣ), моделҳои иқлимӣ, модели рушди дарахтҳо, моделҳои иқтисодӣ ва ғайра сохта мешаванд. Нусхаи рақамии боғ барои беҳтарнамоии обёрӣ, пешгӯии ҳосил, банақшагирии амалиётҳои агротехникӣ ва ғайра истифода мешаванд.

Бартарии чунин боғҳо дар он аст, ки майдони боғот тавассути мониторингҳои калон назорат карда мешаванд, обёрии қатрагӣ, банақшагирии амалиётҳои агротехнологиро технологияҳои иттилоотӣ идора мекунанд.

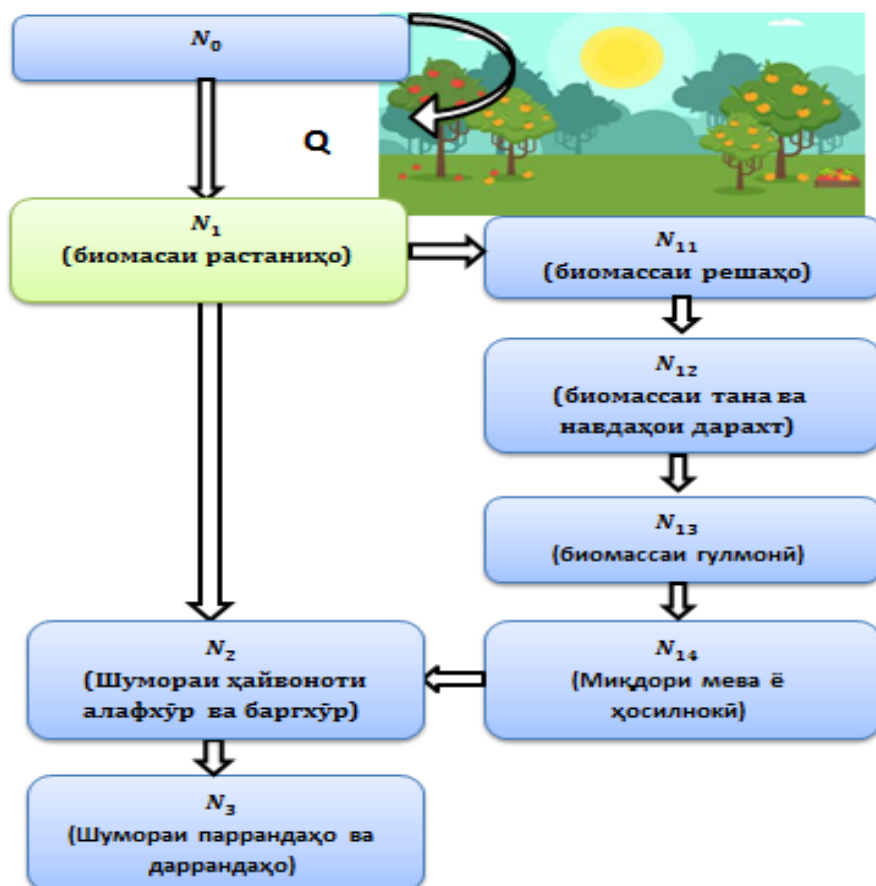
II. Модели концептуалии боғҳои мевадор

Модели концептуалӣ ин мушахасотест, ки барои ифодасозии системаҳо дар сатҳҳои болоӣ бе фаро гирифтани ҷузъиётҳо истифода бурда мешаванд. Мақсади асосии модели концептуалӣ тасвири тасаввуротҳои оиди ягон система дар шаклҳои сода мебошад, ки баъдан мо тавонем, дар бораи қисматҳо ва таъсири байни онҳо маълумот дошта бошем [1,2,3,4].

Модели концептуалӣ аз ҷониби муаллифони гуногун дар шаклҳои гуногун сохта мешаванд. Масалан, бо истифодаи фигураҳои геометрии кунҷ, секунҷа, чоркунҷа, росткунҷа, давра, доира, ромб, хатҳои рост, қаб, морпеч, хатҳои самтшинондиханда, дастаи хатҳои гуногуннамуд ва ғайраҳо.

Ҳоло мо кӯшиш менамоем, барои боғҳои мевадиханда модели нави концептуалӣ созем. Он кӯмак менамояд, ки дарк ва фаҳмиши амиқе дар бораи рушди онҳо, устувории истеҳсоли меваҳо дар шароити гуногун (таъсири зараррасонҳо, обу ҳаво, умури экологӣ ва ғайраҳо) пайдо шавад (Расми 1).

Расми 1. Модели концептуалии боғҳои мевадор



Дар ин ҷо,
 N_0 - биомассаи захираи беруна,

Q - суръати дохилшавии ин захира,
 N_1 - биомассаи қабати 1 (растаниҳо);
 N_{11} - биомассаи қабати 1.1 (решаҳо);
 N_{12} - биомассаи қабати 1.2 (тана ва навдаҳои дарахт);
 N_{13} - биомассаи қабати 1.3 (гулмонӣ);
 N_{14} - биомассаи қабати 1.4 (мевагузорӣ ё ҳосилнокӣ);
 N_2 - шумораи ҳайвоноти алафхӯр ва баргхур;
 N_3 - шумораи паррандаҳо ва даррандаҳо;

Модели концептуалии боғҳои мевадор дар оянда барои банақшагирии моделҳои нисбатан мушахас ё системаҳои мушахас, аз қабали моделҳои мантиқӣ, биологӣ, иқтисодӣ, бозаргонӣ, экологӣ, селекционӣ, генетикӣ, компютерӣ ва ғайраҳо ҳамчун асос хизмат мекунад.

III. Модели математикии боғҳои мевадор

Дар вобастагӣ ба модели концептуалӣ ва қорҳои пештар анҷом додаамон, мо модели математикии боғҳои мевадорро дар намуди зерин сохтем [1,2,3,4,6]

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{dN_0}{dt} = Q - f_0(N_0)N_1; \\
 \frac{dN_1}{dt} = N_1 f_1(N_0, N_1, N_2); \\
 \frac{dN_{11}}{dt_{11}} = N_{11} f_{11}(N_1, N_{11}, N_{12}); \\
 \frac{dN_{12}}{dt_{12}} = N_{12} f_{12}(N_{11}, N_{12}, N_{13}); \\
 \frac{dN_{13}}{dt_{13}} = N_{13} f_{13}(N_{12}, N_{13}, N_{14}); \\
 \frac{dN_{14}}{dt_{14}} = N_{14} f_{14}(N_{13}, N_{14}, N_2); \\
 \frac{dN_2}{dt} = N_2 f_2(N_{14}, N_2, N_3); \\
 \frac{dN_3}{dt} = N_3 f_3(N_2, N_3); \\
 N_i(0) = N_i^0, \quad N_{ij}(0) = N_{ij}^0,
 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$N_i(0) = N_i^0, \quad N_{ij}(0) = N_{ij}^0, \quad (2)$$

Дар ин ҷо, $N_0, N_1, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{14}, N_2, N_3$ - функсияҳои номаълум ё ҷустуҷӯшаванда буда, биомассаи қабатҳои мувофиқ ё шумораи популятсияҳоро ифода мекунад. Q – функсияи додшаванда ё суръати дохилшавии захираҳо мебошад. Он параметрҳои идоракуниро ифода мекунад, t – вақт, $f(,)$ – функсияи додшуда.

Ҳамаи биомассаҳо ва саршуморҳо аз вақт t вобастаанд, яъне

$$\begin{array}{l}
 N_i = N_i(t), \quad i = 1, 2, 3; \quad 0 \leq t \leq t_k \\
 N_{ij} = N_{ij}(t), \quad i = 1, \quad j = 1, 2, 3; \quad 0 \leq t \leq t_k
 \end{array}$$

Муодилаҳои болоро барои ҳар як сатри трофики дар порчаи Δt сохта, баъдан дарозии ин порчаҳоро ба 0 майл кунонида, яъне

$$\begin{aligned} N_0(t + \Delta t) - N_0(t) &= Q * \Delta t - f_0(N_0)N_1 * \Delta t; \\ N_1(t + \Delta t) - N_1(t) &= N_1f_1(N_0, N_1, N_2) * \Delta t; \\ N_{11}(t + \Delta t) - N_{11}(t) &= N_{11}f_{11}(N_1, N_{11}, N_{12}) * \Delta t; \\ N_{12}(t + \Delta t) - N_{12}(t) &= N_{12}f_{12}(N_{11}, N_{12}, N_{13}) * \Delta t; \\ N_{13}(t + \Delta t) - N_{13}(t) &= N_{13}f_{13}(N_{12}, N_{13}, N_{14}) * \Delta t; \\ N_{14}(t + \Delta t) - N_{14}(t) &= N_{14}f_{14}(N_{13}, N_{14}, N_2) * \Delta t; \\ N_2(t + \Delta t) - N_2(t) &= N_2f_2(N_{14}, N_2, N_3) * \Delta t; \\ N_3(t + \Delta t) - N_3(t) &= N_3f_3(N_2, N_3) * \Delta t; \end{aligned}$$

ҳосил кардем.

Системаи муодилаҳои дифференсиалии (1) бо шarti аввалаи (2) модели умумии математикии боғҳои мевадор мебошад.

Танҳо қайд менамоем, ки барои функсияҳои дар ҳар як муодила овардашуда бояд шартҳои зерин иҷро гарданд.

$$\frac{df_i}{dN_j} = \begin{cases} \leq 0, & i < j & j = 1, 2, 3, 4 \\ = 0, & i = j & j = 1, 2, 3, 4 \\ \geq 0, & i > j \end{cases} \quad (3)$$

ва барои қабатҳои ду ченака

$$\frac{df_{ij}}{dN_{ij}} = \begin{cases} \leq 0, & i < j, & i = 1, & j = 1, 2, 3, 4 \\ = 0, & i = j, & i = 1, & j = 1, 2, 3, 4 \\ \geq 0, & i > j \end{cases} \quad (4)$$

Баробариҳои (3) ва (4) муносибати байни равандҳоро дар система ифода мекунанд.

Минбаъд ба омӯзишу тадқиқи модели математикии боғҳои мевадор машғул мешавем.

Адабиёт:

1. *Джалилов Х.М.* Исследование классических моделей с функциональными начальными условиями, Вестник ТНУ, №1/2, ISSN 2413-452X, Душанбе: “Сино”, 2017, стр. 19-25;
2. *Джалилов Х.М.* О решение модельных задач с функциональными начальными условиями / *Х.М.Джалилов, М.Юнусӣ* - Душанбе: Сино, 2014, -112 стр.
3. *Джалилов Х.М.* Численные методы решения модельных задач с функциональными начальными условиями, Вестник ТНУ, Душанбе: Сино. – №2, стр. 48-57. -2017г;
4. *Джалилов Х.М.* Математические модели μ -задач в банаховом пространстве, Вестник ТНУ, Душанбе: Сино. – №3, стр. 32-42. -2017г;

5. *Юнусов М.* Оптимальное уравнение в некоторых процессах тепломассопереноса, отв. ред. Б. А. Алиев, АН Тадж. ССР. Математический ин-т с ВЦ. - Душанбе: Дониш, 1987. - 132 с.;
6. *Юнусов М.К.* Математические модели борьбы с вредителями агроценозов, Душанбе: Дониш-1991, 146с.;
7. *Самарский А.А., Михайлов А.П.,* Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлит, 2001г., 320с.;
8. (Stepik <https://stepik.org> › lesson › step, Модель оценки потенциальной эвапотранспирации ...).
9. *Юнуси М. К.* Численное моделирование модели садовой экосистемы [Текст] / *М. Юнуси, Х. Махмадалиев* // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе, 2015. -№1/2. – С. 3-9. ISSN 2074-1847.
10. *Қосимов И.Л.* Компьютерное моделирование деревьев решений на основе алгоритмов и методов машинного обучения в среде Python/*И.Л.Қосимов, Н.И.Юнусов, Ш.Ш.Зияев*//Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции.№3(71) Душанбе-2025,-51-57стр. EDN: GKEKRS;

СОХТАНИ МОДЕЛИ КОНСЕПТУАЛӢ ВА МАТЕМАТИКИИ БОҒҶОИ МЕВАДОР

Фишурда. Дар мақолаи мазкур аз ҷониби муаллиф аввалан маълумотҳо оиди модели концептуалӣ ва математикии боғҳои мевадор барои пешгӯии равандҳои нашъунамо, ҳосилнокӣ, беҳтарнамоии нақшаи шинонидани дарахтҳо, идоракунии обёрӣ ва озӯкадиҳӣ, химояи растанӣ аз касалиҳо, зараррасонҳо ва баҳодихии самаранокии иқтисоди аз ҷониби муаллифони хориҷӣ ва ватанӣ коркардшуда чамъ оварда шудаанд, баъдан намунаи ба мактаби илмии устод, профессори зиндаёд М. Юнусӣ хос буда сохта шудааст.

Моделҳои концептуалӣ ва математикии боғҳои мевадиханда, дар оянда кӯмак менамоянд, ки дарк ва фаҳмиши амике дар бораи рушди боғҳо, устувории истеҳсоли меваҳо дар шароити гуногун (таъсири зараррасонҳо, обу ҳаво, умури экологӣ ва ғайраҳо) пайдо шавад.

Моделҳои концептуалӣ ва математикии боғҳои мевадор дар оянда барои банақшагирии моделҳои нисбатан мушахас ё системаҳои мушахас, аз қабилҳои моделҳои мантиқӣ, биологӣ, иқтисодӣ, бозаргонӣ, экологӣ, селекционӣ, генетикӣ, компютерӣ ва ғайраҳо ҳамчун асос хизмат мекунанд.

Калидвожаҳо: модел, концептуалӣ, модели математикӣ, боғҳои мевадор, система, порча, устувории истеҳсоли, пешгӯии равандҳои истеҳсоли, таъсири зараррасонҳо, моделсозӣ, мактаби илмии устод М.Юнусӣ, банақшагирий, популятсия, биомасса, қабатҳо, шумораи популятсия ва ғайра.

ПОСТРОЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФРУКТОВОГО САДА

Аннотация. В данной статье автор сначала собрал информацию о концептуальной и математической модели плодовых садов для прогнозирования процессов роста, продуктивности, улучшения плана посадки, управления орошением и подкормкой, защиты растений от болезней и вредителей, а также оценки экономической эффективности, разработанной зарубежными и отечественными авторами, а затем построил модель, специфичную для научной школы покойного профессора М. Юнуси.

Концептуальные и математические модели плодовых садов помогут в будущем глубже понять развитие садов, устойчивость плодового хозяйства в различных условиях (воздействие вредителей, погоды, экологических проблем и т. д.).

Концептуальные и математические модели садов послужат основой для планирования более конкретных моделей или систем в будущем, таких как логические, биологические, экономические, рыночные, экологические, селекционные, генетические, компьютерные и др.

Ключевые слова: модель, концептуальная, математическая модель, сады, система, фрагмент, стабильность производства, прогнозирование производственных процессов, воздействие вредителей, моделирование, научная школа М. Юнуси, планирование, популяция, биомасса, несущие, численность популяции и др.

CONSTRUCTION OF A CONCEPTUAL AND MATHEMATICAL MODEL OF FRUIT GARDEN

Annotation. In this article, the author first collected information on the conceptual and mathematical model of fruit orchards for predicting growth processes, productivity, improving the planting plan, irrigation and feeding management, plant protection from diseases, pests and assessing economic efficiency developed by foreign and domestic authors, then a model was built that is specific to the scientific school of the late professor M. Yunusi.

Conceptual and mathematical models of fruit orchards will help in the future to gain a deeper understanding and understanding of the development of orchards, the sustainability of fruit production in various conditions (the impact of pests, weather, environmental issues, etc.).

Conceptual and mathematical models of orchards will serve as the basis for planning more specific models or specific systems in the future, such as logical, biological, economic, market, ecological, breeding, genetic, computer, etc.

Keywords: model, conceptual, mathematical model, orchards, system, fragment, production stability, forecasting of production processes, impact of pests, modeling, scientific school of M. Yunusi, planning, population, biomass, layers, population size, etc.

Маълумоти муаллиф: *Ҷалилов Хуришед Мақсудович* – н.и.ф.-м., дотсенти кафедраи информатикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Телефон: (992)907-96-55-69 E-mail: Sharshara68@mail.ru

Сведения об авторе: *Джалилов Хуришед Мақсудович* – к.ф.-м.н., доцент кафедри информатики Таджикского национального университета. Телефон: (992)907-96-55-69. E-mail: Sharshara68@mail.ru

Author's details: *Jalilov Khurshed Maksudovich* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Informatics Department of the Tajik National University. Phone: (992)907-96-55-69. E-mail: Sharshara68@mail.ru

Мақола ба редакция ворид шуд: 06.01.2026

Аз тақриз баргашт: 09.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 03.03.2026

УДК: 519.31

ТАҶРИБАҲОИ КОМПЮТЕРӢ БО МОДЕЛИ ТАӢИРӢБИИ ҲАРОРАТИ ХОК

Насруллозода Қ.Н.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Ба омӯзиши тавсифҳои гармию физикии хок ва методҳои муайян кардани онҳо адабиёти бисёр бахшида шудааст [3,5,7,8]. Параметрҳои гармию физикии хок, параметрҳои васеъ истифодашавандаи физикаи хок дар соҳаи хоҷагии қишлоқ ва махсусан, дар соҳаи татбиқи кӯчониши гармӣ дар хок мебошанд. Онҳо аз намии хок, таркиби заррагии хок, зичии хок, ковокии хок ва моддаҳои органикӣ саҳт вобаста мебошанд. Барои пешгӯӣ кардани ҳарорати хок ва моделиронии сели гармӣ дар хок, маълумотҳо дар бораи параметрҳои гармию физикии хок зарур мебошанд. Ин маълумотҳо мустақим ё ғайримустақим ба хосиятҳои физикии хок, ба монанди гузарониши гидравликии хок, инфилтратсия, гармигузаронӣ, сели гармӣ ва сели об дар хок таъсир мерасонанд.

Моддаҳои органикӣ, ки дар таркиби хок ҳастанд, ба параметрҳои гармию физикии хок низ таъсири калон мерасонанд ва гармигузаронию ҳароратгузаронии хок бошанд, бо моддаҳои органикӣ, бо коррелятсияи манфӣ вобаста мебошанд. Дар баъзе корҳо қайд карда шудааст, ки бо зиёд шудани зичии хок гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии хок зиёд мешаванд. Сохтор ва ченаки ковокии хок низ метавонад ба гармигузаронии хок таъсири калон расонад. Махсусан, дар хокҳои аз заррачаҳои хурд иборатбуда, нишон дода шудааст, ки гармигузаронӣ дар хокҳои сохторашон вайроншуда нисбат ба хокҳои сохторашон дуруст, дар ҳолати якхела будани намӣ, зиёдтар мебошад. Масалан гили регдор нисбат ба гили одӣ гармигузаронии зиёд дорад.

Барои равандҳои физикӣ, химикӣ ва биологӣ дар хок ҷоришаванда ҳарорати хок омили зарурии аввалиндараҷа мебошад. Тағйирёбии ҳарорати хок на танҳо бо ба хок дохил шудан ва хориҷ шудани гармӣ, балки инчунин бо параметрҳои гармию физикии хок, ки асоси баҳодиҳӣ ва моделиронии сели гармӣ ва баҳисобгирии ҳарорати хок мебошанд, муайян карда мешавад. Ин параметрҳо гармиғунҷоиш G , гармигузаронӣ Q ва ҳароратгузаронӣ K мебошанд.

Дар градиенти воҳидии ҳарорат гармигузаронӣ Q , ҳамчун миқдори гармӣ, ки аз масоҳати воҳидӣ, дар воҳиди вақт (зичии сели гармӣ) мегузарад, муайян карда мешавад. Гармигузаронии хок Q пеш аз ҳама аз зичии хок ва миқдори об дар хок вобаста мебошад. Зиёдшавии зичии хок, яъне кам шудани масоҳати

байни зарраҷаҳои саҳти хок, ба зиёдшавии гармигузаронӣ оварда мерасонад. Ҳамчунин гармигузаронии хок бо зиёд шудани миқдори об дар хок зиёд мешавад. Оби дар хок буда гармигузарониро дар байни зарраҳои хок беҳтар мекунад.

Коэффитсиенти гармигузаронӣ қобилияти муҳитро, барои ба самти муайян гузаронидани гармӣ, тавсиф мекунад. Дар шароити статсионарӣ, сели гармӣ ба бузургии градиенти ҳарорат бо коэффитсиенти гармигузаронӣ, ки танҳо аз хосиятҳои муҳит вобаста мебошад, мутаносиб мебошад. Ҳароратгузаронӣ низ яке аз параметрҳои зарурии речаи гармии хок мебошад. Ҳароратгузаронӣ ҳамчун нисбати коэффитсиенти гармигузаронӣ ба гармиғунҷоиш $K=Q/G$ муайян карда мешавад. Параметри G қобилияти хокро барои нигоҳ доштани миқдори энергияи гармӣ, дар раванди кучониши гармӣ дар хок, муайян мекунад.

Дар кори Ч. Гюлалиев [4, с.31] дар асоси таҳқиқотҳои таҷрибавӣ ва аналитикии хосиятҳои гармию физикии хок вобастагии аналитикии хосиятҳои гармию физикии хок аз намии хок ҳосил карда шудааст.

Дар мақолаи С.В. Нерпин [6, с.150] бо ҳаммуалифон нишон дода шудааст, ки ба хосиятҳои гармию физикии хок аз ҳама бисёртар намии хок таъсир мерасонад. Бинобар ин ҳангоми моделиронии речаи гармии хок коэффитсиенти ҳароратгузаронӣ ҳамчун функсия аз намии хок истифода бурда шудааст.

Таърихи тараққии моделиронии раванди ҳосилнокии растанӣ ва гармию намигузаронии хок нишон медиҳад, ки аз тарафи коллективҳои гуногун, дар давраҳои гуногун моделҳои гуногуни минтақавӣ сохта шудаанд, ки бо қонуни феноменологии баланс ва кучониш асоснок карда шудаанд ва аз якдигар танҳо бо интихоби шартҳои канорӣ ва параметрҳои минтақавӣ фарқ мекунанд.

Дар кори [1, с. 92] амсилаи математикии тағйирёбии ҳарорати хок сохта шудааст. Барои тавсифи ин раванд муодилаи хаттии гармигузаронии

$$G(x) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(Q(x) \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad x \in [0; 1], \quad t \in [0; t_k],$$

бо шarti аввалаи

$$T(x, 0) = \varphi(x)$$

ва шартҳои канории

$$Q(x) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = f(t),$$

$$T(1, t) = g(t)$$

истифода шудааст, ки дар ин ҷо $T=T(x,t)$ – ҳарорати хок дар лаҳзаи вақти t , дар нуқтаи x мебошад. Вақти ба охир расонидани ҳисобкунӣ бо t_k ишора шудааст. Функцияҳои $G(x)$ и $Q(x)$ хосиятҳои физикии гарминигоҳдорӣ ва гармигузаронии хокро тавсиф мекунанд.

Таҳқиқотҳои таҷрибавӣ нишон медиҳанд, ки гармигузаронии хок бо зиёд шудани намии хок афзуда, қимати максималии худро дар ҳолати зиёд будани намии хок соҳиб мешавад. Дар ҳолати хусусӣ, алоқаи байни гармигузаронӣ ва намии хокро бо вобастагии квадратии зерин хуб аппроксиматсия кардан мумкин аст [2].

$$Q(w) = G(w)(\lambda_1(w - \lambda_4)^2 + \lambda_2\rho + \lambda_3),$$

ки дар ин ҷо w -намии хок, ρ -зичии хок буда, коэффитсиентҳои λ_i , ($i = 1,4$) барои баъзе намудҳои хок дар [2] оварда шудаанд.

Табиист, ки дар қабати болоии хок шартҳои канорӣ бояд бо чунин вобастагӣ навишта шавад, ки «дӯхтани» ҳалли масъаларо дар хок ва дар ҳавои назди замин таъмин намояд. Дурусттараш бояд ба сифати чунин вобастагӣ шартҳои мувозинати гармӣ дар сатҳи хок истифода шавад. Дар ин ҳолат гармиивазкунӣ дар сатҳи хок мувофиқи қонуни Нютон гузаронида мешавад, яъне

$$Q(x) \frac{\partial T}{\partial x} + K(T(0,t) - f_1(t)) = q(x,t),$$

ки дар ин ҷо $f_1(t)$ – ҳарорати ҳаво дар лаҳзаи вақти t , K - коэффитсиенти ҳароратгузаронӣ бо муҳити атроф мебошанд. Функцияи $q(x,t)$ сели гармиро ба хок, хароҷоти гармиро ба кўҷуниши турбулентӣ ба атмосфера, ба бухоршавӣ ва ғайраҳо ифода мекунад.

Дар модели мазкур $q(x,t) = 0$ ҳисобидашуда, тарафи рости баробарии (3) дар намуди зерин муайян карда шудааст:

$$f(t) = K(T(0,t) - f_1(t)),$$

Барои муайян кардани функцияи $f_1(t)$, дар асоси маълумотҳои Маркази обу ҳавосанҷии Ҷумҳурии Тоҷикистон, чадвали қиматҳои миёнаи ҳарорати ҳар даҳрӯза тартиб дода шудааст.

Барои ёфтани ҳалли ададии масъалаи гузошташуда схемаи фарқии ноошқори чорнуқтагӣ сохта шудааст. Ин схемаи фарқӣ, дар ҳар як қадами вақт, системаи муодилаҳои алгебравии седиогоналиро ташкил медиҳад, ки ҳалли он бо методи гузарониши фарқӣ ба даст оварда шудааст. Дар кори [9] таҷрибаҳои компютери дигар гузаронида шудаанд, ки натиҷаҳои онҳо дар расмҳои 1-4 (кори мазкур) нишон дода шудаанд.

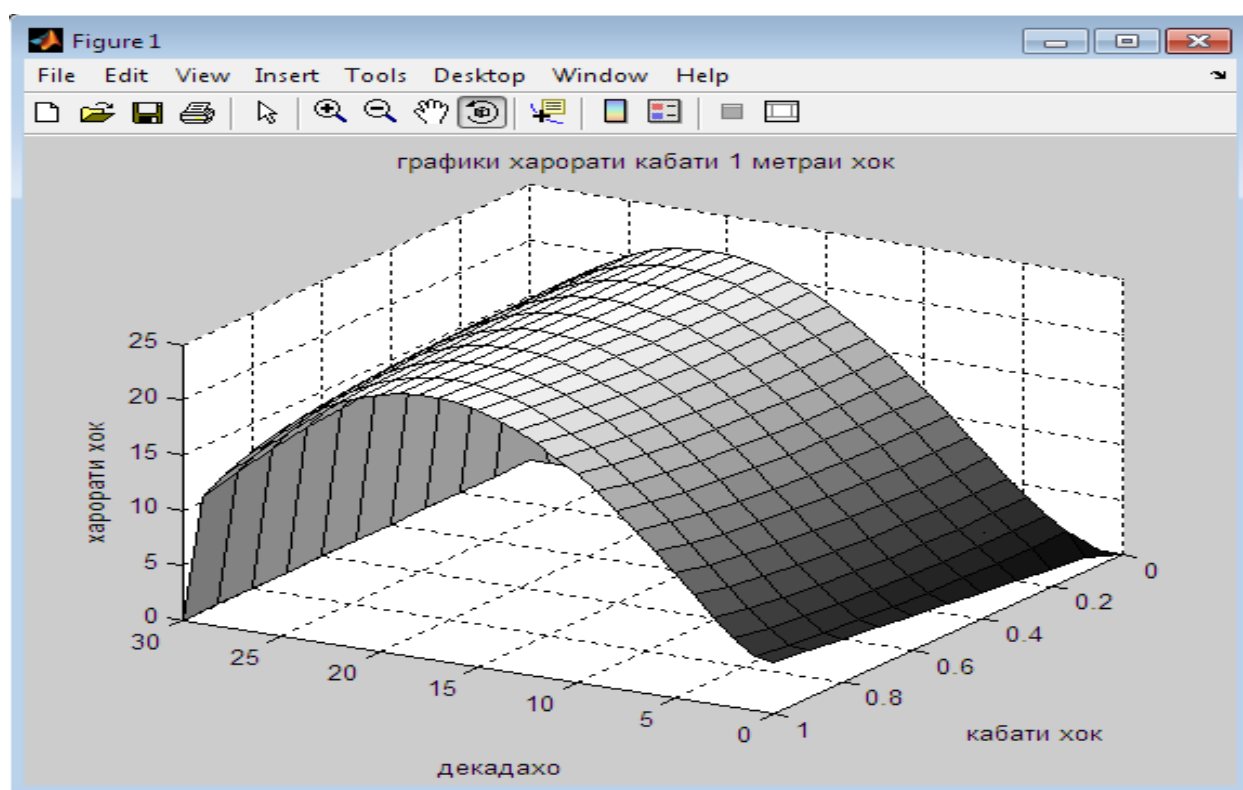
Дар расми 1 натиҷаи идентификатсиякардашудаи модел оварда шудааст, ки дар он тағйирёбии ҳарорати хок дар даҳ қабати даҳсантиметраи хок, дар 30 декада нишон дода шудааст.

Дар расми 2 натиҷаи компютерӣ оварда шудааст, ки дар он, дар 10 декадаи аввал ҳарорати миёнаи ҳаво ба 2°C баланд карда шудааст.

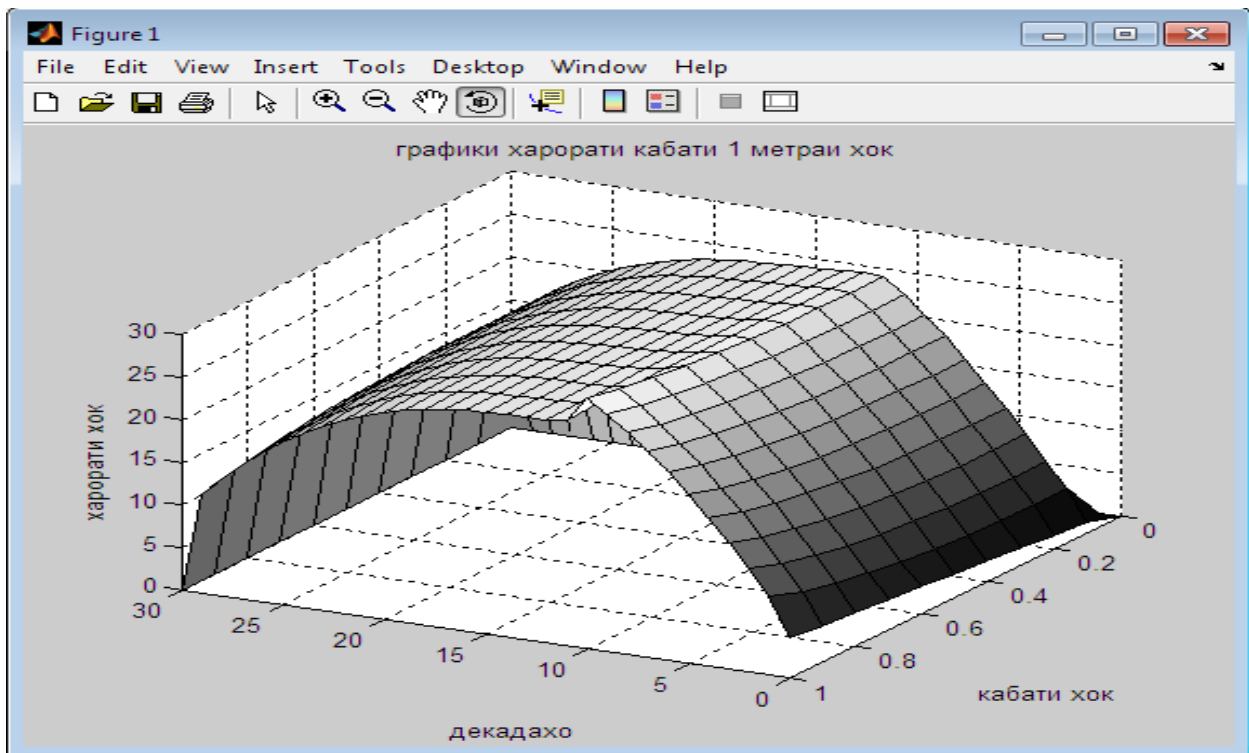
Расми 3 натиҷаи компютерии дигар мебошад, ки дар он дар 10 декадаи дуюм ҳарорати миёнаи ҳаво ба 2°C баланд карда шудааст.

Расми 4 натиҷаи дар 10 декадаи сеюм баланд шудани ҳарорати миёнаи ҳаворо ба 2°C нишон медиҳад.

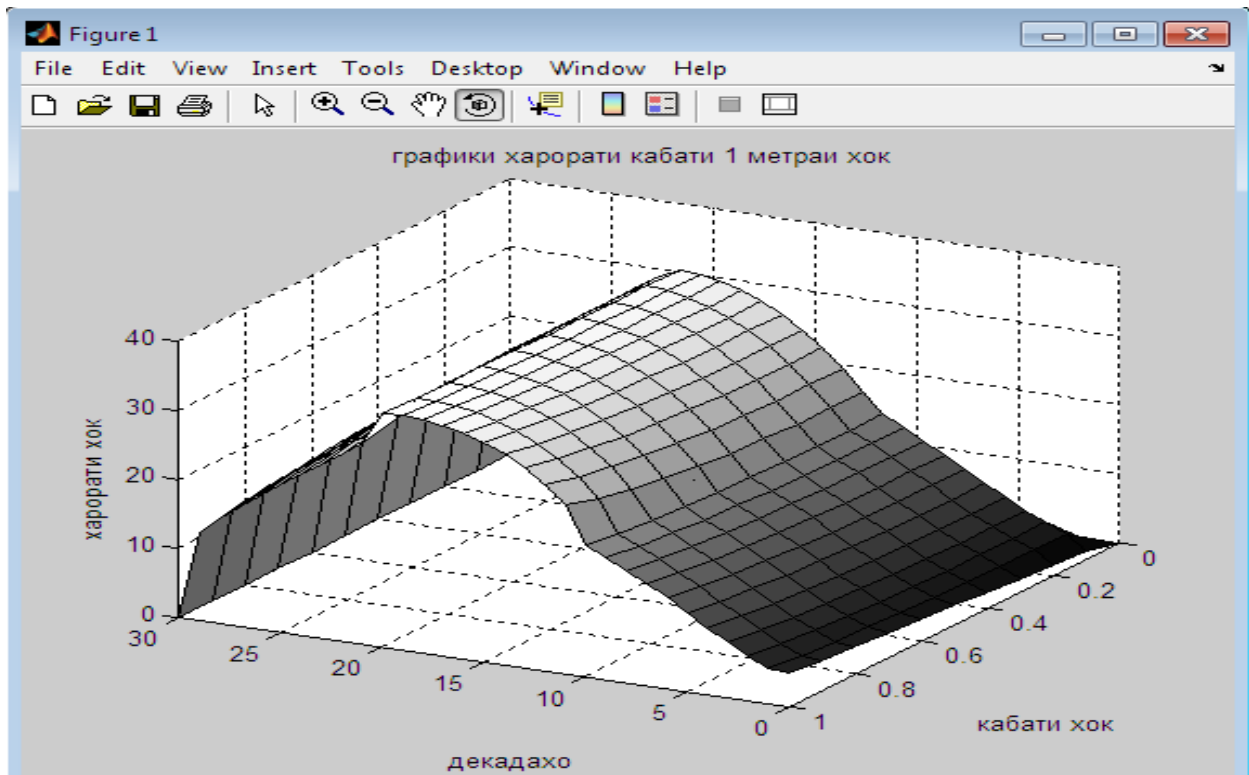
Таҷрибаҳои компютерии гузаронидашуда нишон медиҳанд, ки модели математикии сохташуда раванди тағйирёбии ҳарорати хокро дуруст инъикос мекунад.



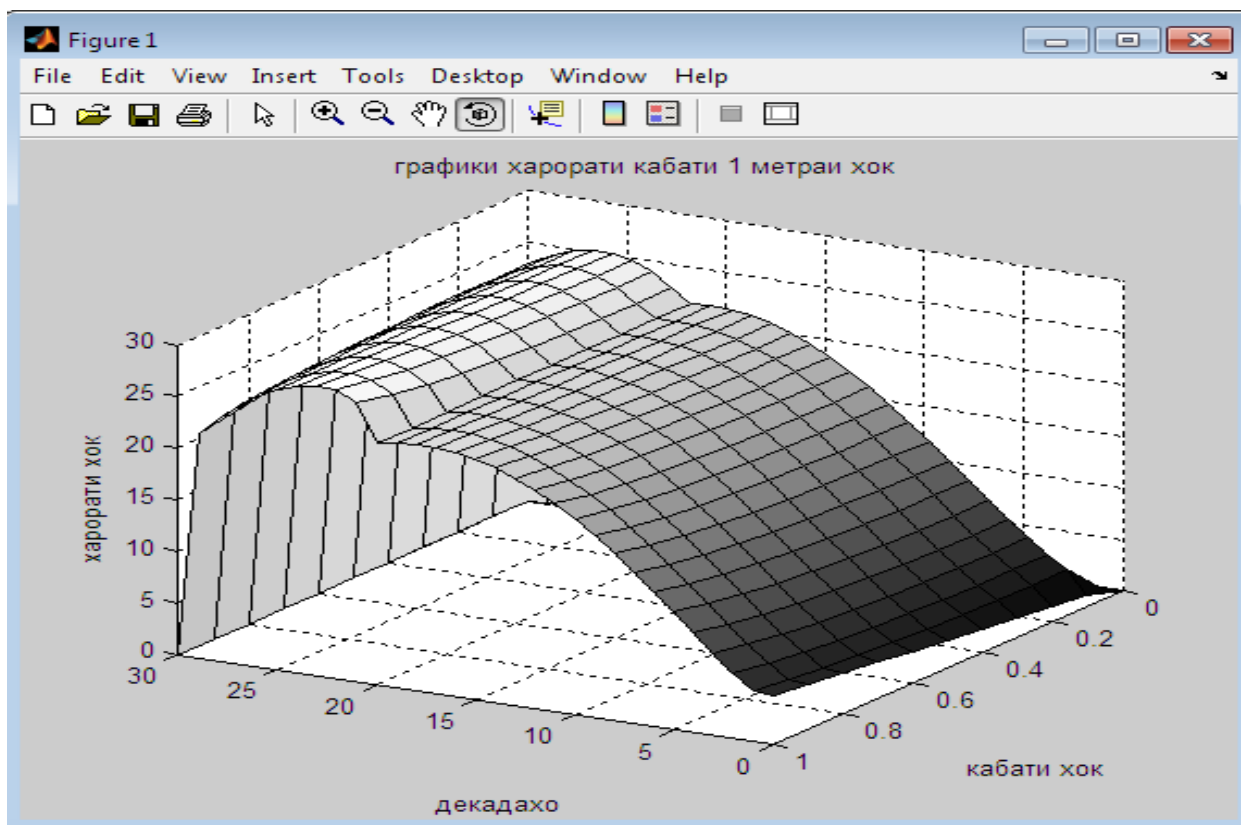
Расми 1. Натиҷаи идентификатсиякардашудаи модел. Тағйирёбии ҳарорати хок дар даҳ қабати даҳсантиметраи хок, дар 30 декада



Расми 2. Натиҷаи таҷрибаи компютерӣ: дар 10 декадаи аввал ҳарорати миёнаи ҳаво ба 2°C баланд карда шудааст



Расми 3. Натиҷаи таҷрибаи компютерӣ: дар 10 декадаи дуюм ҳарорати миёнаи ҳаво ба 2°C баланд карда шудааст.



Расми 4. Натиҷаи таҷрибаи компютерӣ: дар 10 декадаи сеюм ҳарорати миёнаи ҳаво ба 2°C баланд карда шудааст

Адабиёт:

1. Садуллоев, Р.И., Насруллоев, Қ.Н. Моделсозӣ ва ҳисоббарориҳои адабии тағйирёбии ҳарорати хок / Р.И. Садуллоев, Қ.Н. Насруллоев // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2023. – №3. – С. 92 – 99.
2. Полуэктов, Р.А. Динамические модели агроэкосистемы / Р.А. Полуэктов // -Л.: Гидрометеоиздат.- 1991. – 312 с.
3. Галанин, М.П., Савенков, Е.Б. Методы численного анализа математических моделей / М.П. Галанин, Е.Б. Савенков // – М.: Изд – во МГТУ им. Н. Э.Баумана.- 2010. – 591 с.
4. Гюлалыев, Ч. Г. Определение температуропроводности почв с различной влажностью по данным экспериментальных измерений / Ч.Г. Гюлалыев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 5. – С. 31 – 35.
5. Куртнер, Д.А. Решетин, О.Л., Чудновский, А.Ф. Решение уравнения теплопроводности при переменном коэффициенте переноса / Д.А. Куртнер, О.Л. Решетин, А.Ф. Чудновский // Сб. трудов по агроном. физике, 1970. – № 26. – С.71 – 79.

6. *Нерпин, С.В., Резник, Г.С., Юзефович, Г.И.* Об учете гистерезиса при расчете перераспределения почвенной влаги / *С.В. Нерпин, Г.С. Резник, Г.И. Юзефович* // Сб.трудов по агрофизике. Л.:Гидрометеиздат, 1969.–Вып. 23.–С.150-156.
7. *Нерпин, С.В., Чудновский, А.Ф.* Физика почвы. / *С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский* // –М.: Наука, 1967. – 584 с.
8. *Чудновский, А. Ф.* Теплофизические характеристики дисперсных материалов / *А.Ф. Чудновский* // – М.: Физматгиз.- 1962. – 456 с.
9. *Садуллоев, Р.И., Насруллоев, К.Н.* Численные расчёты температурного режима почвы / *Р.И. Садуллоев, К.Н. Насруллоев* // Вестник Филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных и геологических наук. – 2024. №4. – С. 21–28.

ТАҶРИБАҶОИ КОМПЮТЕРӢ БО МОДЕЛИ ТАӢИРӢБИИ ҲАРОРАТИ ХОК

Фиишурда. Хосиятҳои гармию физикии хок тавсиф дода шуда, параметрҳои он муайян карда шудаанд. Модели математикии тағйирёбии ҳарорати хок сохта шудааст, ки он аз масъалаи канории омехта барои муодилаи хаттии гармигузаронӣ иборат мебошад. Коэффитсиентҳои ин муодила параметрҳои гарминигохдорӣ ва гармигузаронии хок мебошанд. Модели сохташуда бо методи адабии фарқҳои охиринок ҳал карда шудааст ва дар натиҷаи таҷрибаҳои компютерӣ нишон дода шудааст, ки он раванди тағйирёбии ҳарорати хокро дуруст инъикос мекунад.

Калидвожаҳо: параметр, хок, ҳарорат, коэффитсиент, гарминигохдорӣ, гармигузаронӣ, модел, метод, фарқҳои охиринок, таҷриба, компютер.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С МОДЕЛЬЮ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ

Аннотация. Описаны тепловые и физические свойства почвы и определены его параметры. Построена математическая модель изменения температуры почвы, которая представляет смешанную задачу для линейной уравнение теплопроводности. Коэффициентами уравнение являются параметры теплоемкости и теплопроводности почвы. Построенная модель решена методом конечных разностей и в результате компьютерных экспериментов показано, что модель правильно отражает процесс изменения температуры почвы.

Ключевые слова: параметр, почва, температура, коэффициент, теплоемкость, теплопроводность, модель, метод, конечные разности, эксперимент, компьютер.

COMPUTER EXPERIMENTS WITH A MODEL OF SOIL TEMPERATURE CHANGE

Annotation. The thermal and physical properties of the soil are described and its parameters are determined. A mathematical model of soil temperature change is constructed, which represents a mixed problem for the linear equation of thermal conductivity. The coefficients of the equation are the parameters of the heat capacity and thermal conductivity of the soil. The constructed model is solved by the finite difference method and as a result of computer experiments it is shown that the model correctly reflects the process of soil temperature change.

Keywords: parameter, soil, temperature, coefficient, heat capacity, thermal conductivity, model, method, finite differences, experiment, computer.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Насруллозода Қурбонали Нурмахмад* – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, факултети механикаю математика, кафедраи математикаи ҳисоббарорӣ ва механика, докторанти Ph.D. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734025, шаҳри Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 934-00-99-04, **E-mail:** Qurbonalisho1997@mail.ru

Сведения об авторе: *Насруллозода Қурбонали Нурмахмад* – Таджикский национальный университет, механико-математический факультет, кафедра вычислительной математики и механики, докторант Ph.D. **Адрес:** Республика Таджикистан, 734025, город Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 934-00-99-04, **E-mail:** Qurbonalisho1997@mail.ru

Information about the author: *Nasrullozoda Qurbonali Nurmahmad* – Tajik National University, Faculty of Mechanics and Mathematics, Department of Computational Mathematics and Mechanics, Ph.D. candidate. **Address:** 17 Rudaki Avenue, Dushanbe, 734025, Republic of Tajikistan. **Phone:** (+992) 934-00-99-04, **E-mail:** Qurbonalisho1997@mail.ru

Мақола ба редакция ворид шуд: 07.01.2026

Аз тақриз баргашт: 10.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 03.03.2026

УДК 536.7:539.2

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА $AlTi_{0.1}$ МОДИФИЦИРОВАННОГО КАЛЬЦИЕМ, СТРОНЦИЕМ И БАРИЕМ

Ф.Ш. Зокиров

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Введение

Алюминиевые сплавы широко используются в электротехнических материалах, электрических проводниках, линиях электропередачи, кабелях связи и автомобильных проводах благодаря своей высокой проводимости, низкой стоимости, хорошей формуемости, малой плотности и коррозионной стойкости. Высокопроводящие алюминиевые сплавы, используемые в этих различных деталях, требуют высокой проводимости и механических свойств [1, с.53].

В последние два десятилетия, в связи с ростом спроса со стороны линий электропередачи, медь заменяется алюминием благодаря её малому весу и относительно низкой стоимости. Кроме того, среди конструкционных проводниковых материалов алюминий обладает очень хорошей электропроводностью благодаря низкому удельному весу (практически второй по прочности после меди). Замена меди алюминием для передачи электроэнергии, например, на проводах АCSR (алюминиевые стальные проводники), силовых кабелях и т.д., растёт во всём мире. Более того, замена меди алюминием происходит и в странах, обладающих достаточными ресурсами меди, поскольку алюминий демонстрирует существенные экономические преимущества в качестве серьёзного конкурента меди [2, с.1].

Электропроводность и механическая прочность являются важнейшими свойствами проводниковых материалов, которые напрямую связаны с потерями энергии и безопасностью. Общие инженерные усилия направлены на улучшение механических характеристик путем легирования и термомеханической обработки, которая увеличивает плотность центров распределения электронов. Это вызывает рассеяние энергии и снижение проводимости, определяемой скоростью движения свободных электронов без возмущения. Следовательно, проектирование проводниковых материалов с одновременно низким сопротивлением и высокой прочностью является нетривиальной задачей. Компромисс между прочностью и электропроводностью является в настоящее время барьером знаний, и это, по

сути, верно для всех металлических проводников, включая алюминий [3, с.14853].

Чтобы преодолеть высокую стоимость редкоземельных элементов, исследуется альтернативный способ легирования алюминия для электротехники путем добавления эвтектикообразующих элементов с низкой растворимостью в алюминии в твердом состоянии. В большинстве исследований для этой цели используются различные содержания переходных металлов, в основном Zr, Cr, Mn, Ni, Fe, Ti и Ag [3, с.14868].

Лёгкие сплавы на основе алюминия и титана уже несколько десятилетий являются предметом обсуждения и исследований. Полученные сплавы с твёрдыми интерметаллическими фазами в бинарной системе Al-Ti обладают хорошими микроструктурными и механическими свойствами, включая низкую плотность, высокую удельную прочность, лучшую стойкость к окислению и коррозии, что весьма востребовано в аэрокосмической промышленности. Такая система сплавов была изучена в нашем исследовании. Порошковая металлургия была использована в качестве технологического процесса из-за её экономичности и простоты эксплуатации. Образцы были изготовлены из металлических порошков алюминия и титана с различным составом: 95 ат.% Al-Ti, 90 ат.% Al-Ti и 88 ат.% Al-10 ат.% Ti-2 ат.% SiC. После прессования проводили спекание без давления при температуре 620 °C в течение нескольких часов в аргоне, затем в атмосфере, что привело к отжигу достаточно плотного сплава Al-Ti. Микроструктуру и фазовый состав сплава анализировали методами сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии соответственно. Твёрдость определяли методом микроиндентирования по Виккерсу. Наблюдалось увеличение твёрдости [4, с.22].

Цель работы заключается в исследовании влияния добавки кальция, стронция и бария на температурные зависимости удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 (Al+0.1 мас. % Ti).

Схема установки и методика измерения теплоёмкости твёрдых тел

Практическое значение исследований теплоёмкости важно для расчётов энергетических балансов процессов в химических реакторах и других аппаратах химического производства, а также для выбора оптимальных теплоносителей. Экспериментальное измерение теплоёмкости для разных интервалов температур - от предельно низких до высоких - является основным методом определения термодинамических свойств веществ.

Нами исследование теплоёмкости металлов проводилось на установке, схема которой представлена на рис. 1, описанной в работах [5, с.867].

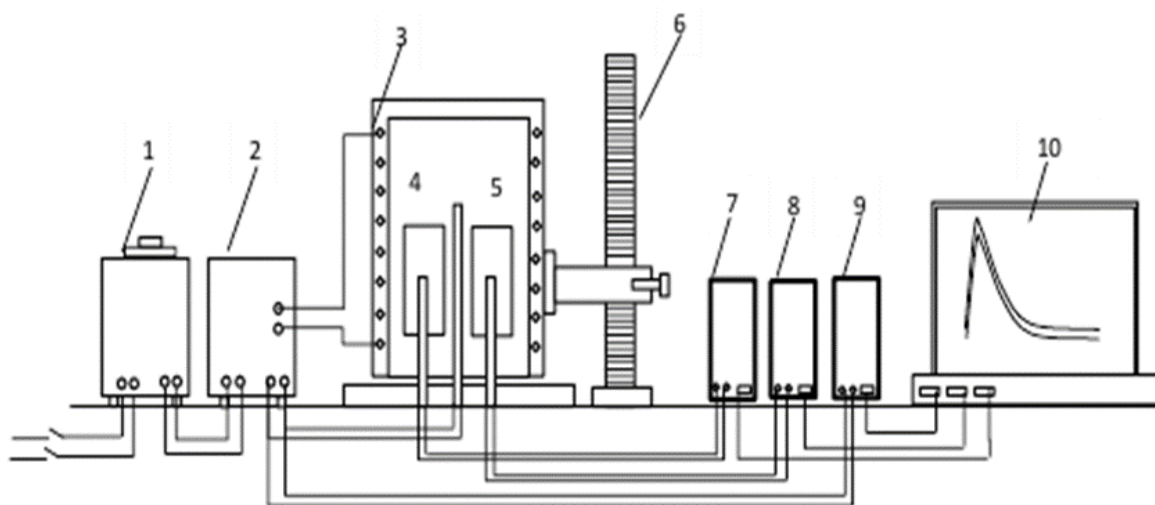


Рис.1. Схема установка для определения теплоёмкости твёрдых тел в режиме «охлаждения»

Одним из методов, позволяющий корректно установить температурную зависимость теплоёмкости металлов и сплавов в области высоких температур является метод сравнения скоростей охлаждения двух образцов, исследуемого и эталонного, по закону охлаждения Ньютона – Рихмана.

Как известно [6, с.11; 7, с.46; 8, с.126], теплоемкость твердых тел в режиме «охлаждения» определяется по уравнению

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (1)$$

где $m_1 = \rho_1 V_1$ – масса эталона, $m_2 = \rho_2 V_2$ – масса исследуемого образца; $(dT/d\tau)_1$, $(dT/d\tau)_2$ – скорости охлаждения образцов из эталона и исследуемых сплавов при данной температуре. Для определения скорости охлаждения строят кривые охлаждения образцов.

Теплоёмкость алюминиевого сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием измеряли в режиме «охлаждения» по методикам, описанным в работах [9, с.892; 10, с.30]. Обработка результатов измерений и построение графиков производилось с помощью программ MS Excel и Sigma Plot. Значения коэффициента корреляции составлял величину $R_{\text{корр.}} > 0.998$, подтверждая правильность выбора аппроксимирующей функции. Относительная ошибка измерения теплоёмкости в интервале от 40⁰С до 400⁰С составляла $\pm 1\%$, а в

интервале более $400^{\circ}\text{C} \pm 2.5\%$ [11, с.81; 12, с.170]. Погрешность измерения теплоёмкости по предлагаемой методике в нашем случае составил 1.2%.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Сплавы для исследования синтезировались в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ (сопротивление шахтное опытное лабораторное) в интервале температур $800\text{--}850^{\circ}\text{C}$ из алюминия марки А5 (ГОСТ 110669-01), титана марки ТГ-90 (ГОСТ 19807-91) в виде лигатуры (Al+2 мас.% Ti) с алюминием, кальция металлического марки КаМ-1 (ТУ48-40-215-72), стронция металлического марки СтМ-1 (ТУ48-4-173-72) и бария металлического марки БаМ-1 (ТУ48-4-465-85). Лигатура алюминия с 2 мас.% титана предварительно изготавливалась в вакуумной печи сопротивления типа СНВ 2.4.2/16. Из полученных далее в шахтной печи сопротивления СШОЛ сплавов в графитовую изложницу отливались цилиндрические образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм.

Алюминиевый проводниковый сплав AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием подвергался химическому анализу на содержание основных компонентов и примесей в Центральной заводской лаборатории Алюминиевой компании ОАО «ТалКо» (г. Турсунзаде, Республика Таджикистан). Содержание кальция, стронция и бария в сплавах колебалось от 0.01 до 0.5 мас. %. Состав полученных сплавов контролировался также взвешиванием образцов до и после сплавления. В дальнейшем исследованию подвергались сплавы, у которых разница в массе до и после сплавления не превышала 2% (отн.).

Результаты исследования температуры охлаждения изучаемых сплавов представлены на рис. 2. В общем случае полученные графики температуры (Т) от времени охлаждения (τ) для образцов из алюминиевого сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием показывают непрерывное уменьшение температуры образцов и эталона по мере их охлаждения. На кривых охлаждения термических эффектов, связанных с фазовым превращением или переходом, не обнаружено.

Полученные кривые охлаждения образцов из сплавов описываются уравнением вида

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (2)$$

где a, b, p, k – постоянные для данного образца, τ – время охлаждения.

Дифференцируя уравнение (2) по τ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов

$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \quad (3)$$

По формуле (3) вычислены скорости охлаждения образцов из алюминиевого сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием и эталона. Кривые скорости охлаждения образцов представлены на рис. 3. Обработкой скоростей охлаждения образцов получены значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в (3), которые приведены в табл. 1.

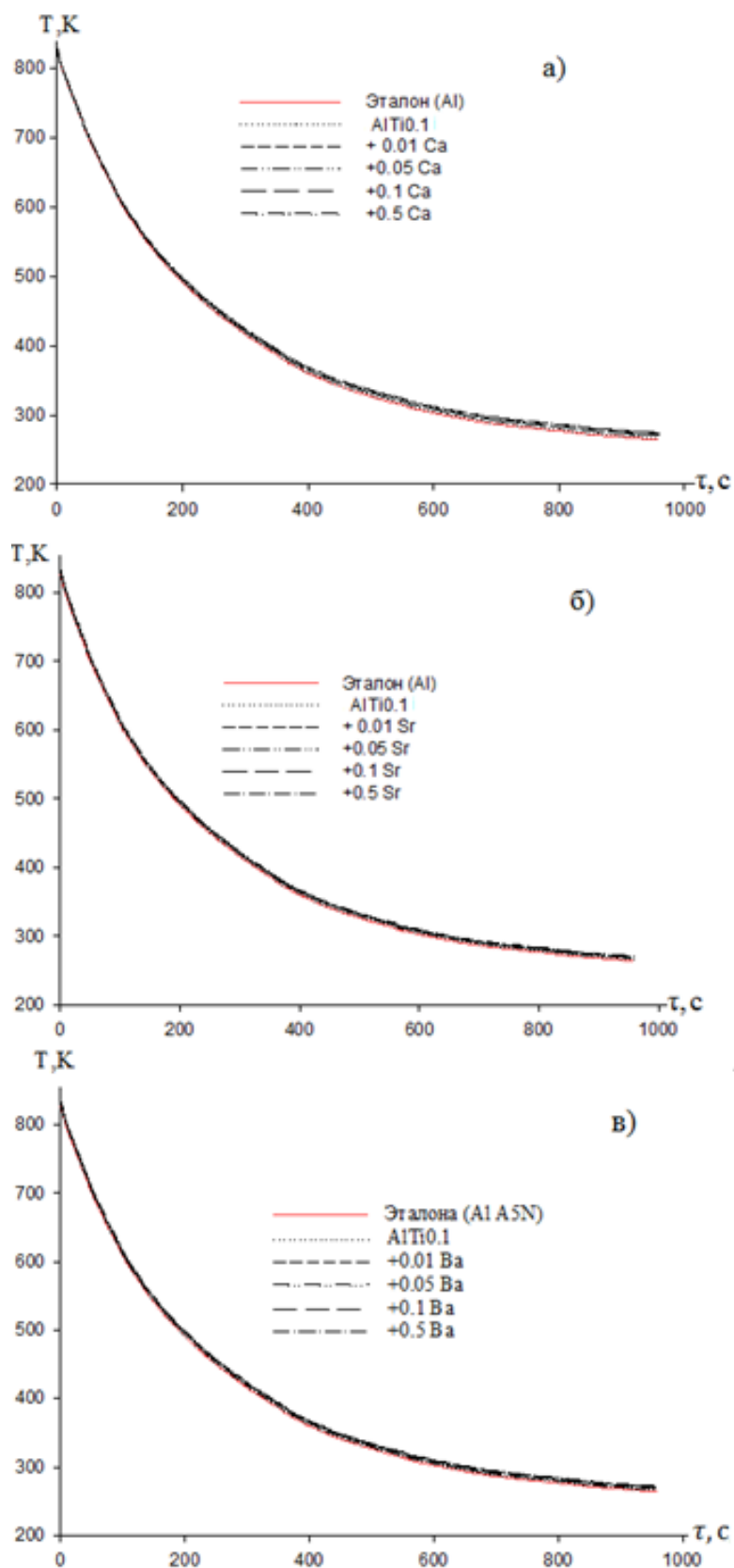


Рис. 2. График изменения температуры от времени охлаждения для образцов из алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 (1) с кальцием (а), стронцием (б) и барием (в), мас. %: 0.01% (2); 0.05% (3); 0.1% (4); 0.5% (5) и эталона (Al A5N)

Таблица 1

Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в уравнении (2) для алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием и эталона (Al A5N)

Содержание кальция, стронция и бария в сплаве, мас.%	a , К	$b \cdot 10^{-3}$, c^{-1}	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, c^{-1}	$a \cdot b$, Kc^{-1}	$pk \cdot 10^{-2}$, $K \cdot c^{-1}$
0.0	495.45	4.94	321.62	2.24	2.45	7.20
0.01 Ca	491.78	4.91	323.29	2.15	2.42	6.94
0.05 Ca	491.78	4.91	323.19	2.15	2.42	6.94
0.1 Ca	490.02	4.90	326.37	2.08	2.40	6.79
0.5 Ca	490.02	4.90	326.18	2.08	2.40	6.79
0.01 Sr	495.52	4.94	323.66	2.22	2.45	7.19
0.05 Sr	495.60	4.94	326.62	2.20	2.45	7.17
0.1 Sr	495.29	4.94	325.19	2.22	2.45	7.22
0.5 Sr	495.31	4.94	325.59	2.22	2.45	7.22
0.01 Ba	495.59	4.94	326.38	2.20	2.45	7.17
0.05 Ba	495.13	4.94	327.78	2.21	2.45	7.24
0.1 Ba	495.30	4.94	325.39	2.22	2.45	7.22
0.5 Ba	495.24	4.94	323.45	2.24	2.45	7.23
Эталон	495.26	4.94	319.82	2.26	2.45	7.24

С использованием установленных скоростей охлаждения образцов по уравнению (1) вычислялось удельная теплоемкость алюминиевого сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием и эталона. Результаты измерения через 100 К представлены в табл. 2 и на рис. 4. Теплоемкость алюминиевого сплава AlTi0.1 с ростом температуры увеличивается, а от концентрации кальция, стронция и бария уменьшается. При переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием и барием теплоёмкость сплавов уменьшается, что коррелирует с изменениями теплоёмкости чистых щелочноземельных металлов в пределах подгруппы. Полученные значения теплоёмкости для особо чистого алюминия (эталона) совпадают с приведёнными в справочнике [13, с.11] данными.

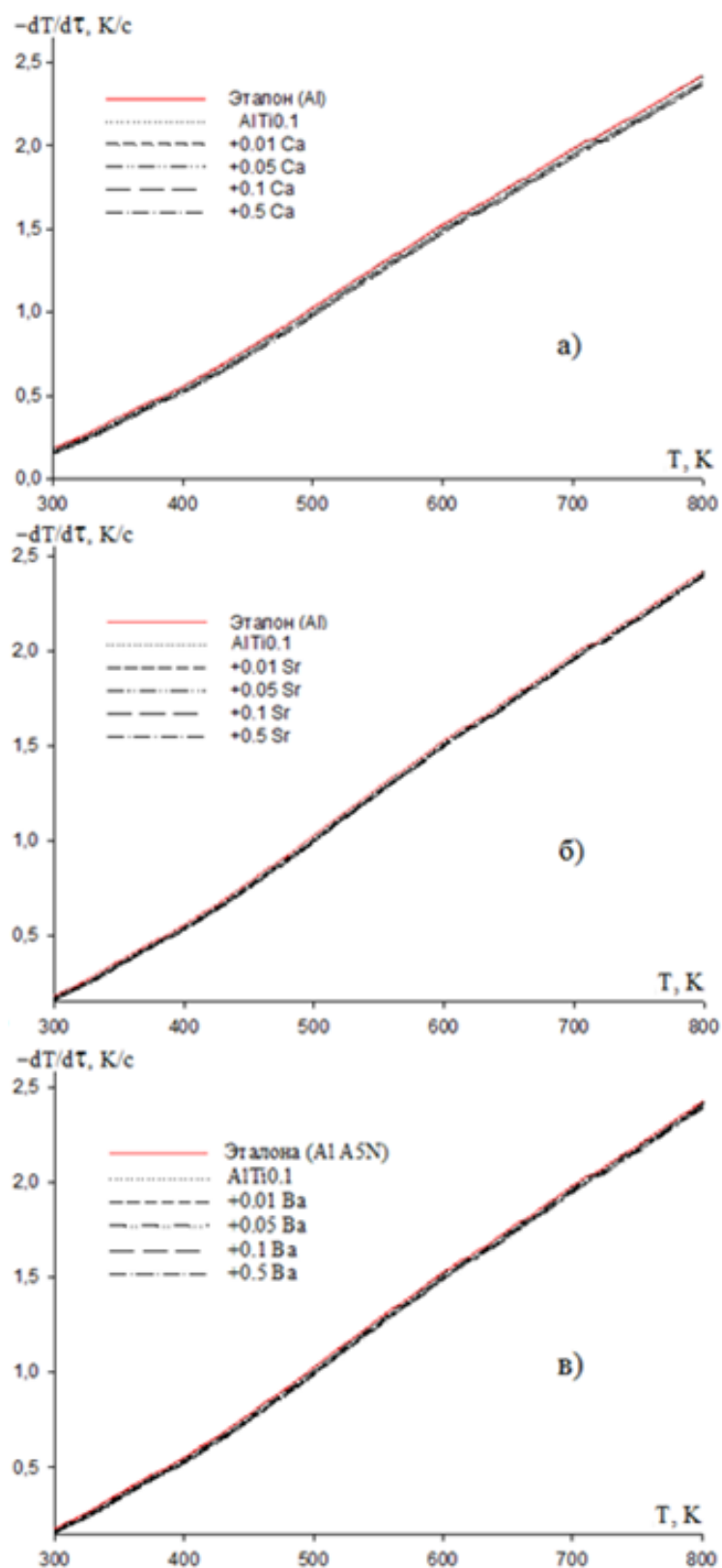


Рис. 3. График изменения скорости охлаждения от температуры для образцов из алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 (1) с кальцием (а), стронцием (б) и барием (в), мас. %: 0.01% (2); 0.05% (3); 0.1% (4); 0.5% (5) и эталона (Al A5N)

Таблица 2

Температурная зависимость удельной теплоёмкости (Дж/(кг·К)) алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием и эталона (Al A5N)

Содержание кальция, стронция и бария в сплаве, мас.%	Т.К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	903.33	949.02	991.11	1035.04	1086.25	1150.21
0.01 Ca	903.30	946.59	986.48	1028.41	1077.83	1140.18
0.05 Ca	903.199	946.49	986.38	1028.31	1077.73	1140.08
0.1 Ca	903.07	946.37	986.25	1028.18	1077.59	1139.95
0.5 Ca	902.04	945.07	984.63	1026.18	1075.14	1136.96
0.01 Sr	903.27	946.56	986.45	1028.38	1077.79	1140.15
0.05 Sr	903.03	946.32	986.21	1028.14	1077.55	1139.91
0.1 Sr	902.73	945.61	985.03	1026.37	1075.12	1136.65
0.5 Sr	900.34	943.22	982.63	1023.98	1072.72	1134.26
0.01 Ba	903.26	946.48	986.24	1027.99	1077.15	1139.16
0.05 Ba	902.98	946.20	985.96	1027.71	1076.87	1138.89
0.1 Ba	902.63	945.55	985.02	1026.46	1075.32	1137.04
0.5 Ba	899.84	943.06	982.83	1024.57	1073.74	1135.75
Эталон	903.70	949.58	991.97	1036.35	1088.21	1153.00

После проведения полиномиальной регрессии получено следующее общее уравнение описывающее температурную зависимость удельной теплоемкости алюминиевого сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (4)$$

Значения коэффициентов a , b , c , d в уравнении (4) представлены в табл. 3.

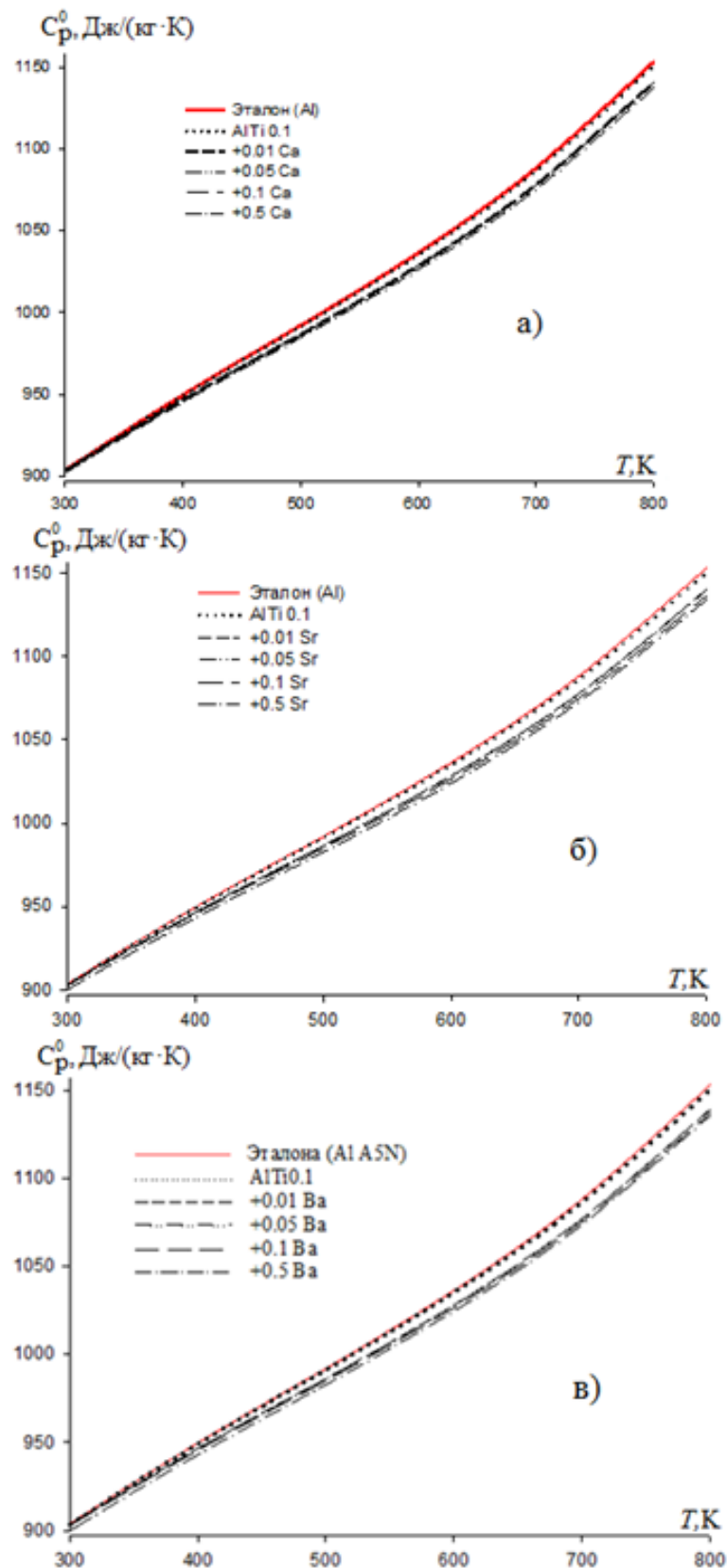


Рис. 4. Температурная зависимость теплоемкости алюминиевого проводникового сплава AlTi0. (1) с кальцием (а), стронцием (б) и барием (в), мас. %: 0.01% (2); 0.05% (3); 0.1% (4); 0.5% (5) и эталона (Al A5N)

Таблица 3.

Значения коэффициентов a , b , c , d в уравнении (4) для алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием и эталона (Al A5N)

Содержание кальция, стронция и бария в сплаве, мас. %	a , Дж/(кг·К)	b , Дж/(кг·К ²)	$c \cdot 10^{-4}$, Дж/(кг·К ³)	$d \cdot 10^{-7}$, Дж/(кг·К ⁴)	Коэффициент корреляции R ²
0.0	690.11	1.01	-12.7	9.08	0.999
0.01 Ca	698.48	0.98	-12.6	9.08	0.999
0.05 Ca	698.38	0.98	-12.6	9.08	0.999
0.1 Ca	698.25	0.98	-12.6	9.08	0.999
0.5 Ca	697.88	0.978	-12.6	9.06	0.999
0.01 Sr	698.45	0.98	-12.6	9.08	0.999
0.05 Sr	698.21	0.98	-12.6	9.08	0.999
0.1 Sr	698.89	0.97	-12.6	9.05	0.999
0.5 Sr	696.50	0.97	-12.6	9.05	0.999
0.01 Ba	698.49	0.98	-12.6	9.06	0.999
0.05 Ba	698.22	0.98	-12.6	9.06	0.999
0.1 Ba	698.76	0.98	-12.6	9.06	0.999
0.5 Ba	695.08	0.98	-12.6	9.06	0.999
Эталон	690.35	1.01	-12.7	9.13	1.000

При расчетах температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (5)-(7) использовали уравнение (4):

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4), \quad (5)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3), \quad (6)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)] \quad (7)$$

где $T_0 = 298.15$ К.

Результаты расчета температурных зависимостей изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (5)-(7) для алюминиевого сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием представлены в табл. 4-6.

Таблица 4

Температурная зависимость изменений энтальпии для алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием, барием и эталона (Al A5N)

Содержание кальция, стронцием и барием в сплаве, мас. %	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
	Т.К.					
	300	400	500	600	700	800
0.0	1.6703	94.3405	191.3547	292.6241	398.6054	510.2997
0.01 Ca	1.6703	94.2163	190.8762	291.5814	396.8085	507.5785
0.05 Ca	1.6701	94.2059	190.8555	291.5505	396.7673	507.5271
0.1 Ca	1.6698	94.1928	190.8296	291.5118	396.7158	507.4628
0.5 Ca	1.6679	94.0751	190.5663	291.0678	396.0494	506.5245
0.01 Sr	1.6702	94.2129	190.8693	291.5711	396.7948	507.5614
0.05 Sr	1.6698	94.1885	190.8210	291.4989	396.6986	507.4413
0.1 Sr	1.6692	94.1380	190.6761	291.2069	396.1969	506.6557
0.5 Sr	1.6648	93.8944	190.1932	290.4848	395.2357	505.4553
0.01 Ba	1.6702	94.2085	190.8509	291.5236	396.6963	507.3826
0.05 Ba	1.6697	94.1801	190.7946	291.4393	396.5842	507.2426
0.1 Ba	1.6690	94.1296	190.6642	291.1991	396.2041	506.6926
0.5 Ba	1.6639	93.8604	190.1609	290.4918	395.3227	505.6672
Эталон	1.6709	94.3869	191.4710	292.8481	398.9913	510.9213

Таблица 5.

Температурная зависимость изменений энтропии для алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием, барием и эталона (Al A5N)

Содержание кальция, стронцием и барием в сплаве, мас. %	$[S^0(T) - S^0(T_0)]$, кДж/(кг · К) для сплавов					
	Т.К.					
	300	400	500	600	700	800
0.0	0.0056	0.2719	0.4881	0.6726	0.8359	0.9850
0.01 Ca	0.0056	0.2716	0.4870	0.6705	0.8326	0.9804
0.05 Ca	0.0056	0.2715	0.4869	0.6704	0.8325	0.9803
0.1 Ca	0.0056	0.2714	0.4869	0.6704	0.8324	0.9802
0.5 Ca	0.0056	0.2711	0.4862	0.6694	0.8311	0.9785
0.01 Sr	0.0056	0.2715	0.4870	0.6705	0.8326	0.9804
0.05 Sr	0.0056	0.2714	0.4869	0.6703	0.8324	0.9802
0.1 Sr	0.0056	0.2713	0.4865	0.6697	0.8315	0.9789
0.5 Sr	0.0055	0.2706	0.4853	0.6681	0.8294	0.9765
0.01 Ba	0.0056	0.2715	0.4869	0.6704	0.8324	0.9801
0.05 Ba	0.0056	0.2714	0.4868	0.6702	0.8322	0.9799
0.1 Ba	0.0056	0.2713	0.4865	0.6697	0.8315	0.9789
0.5 Ba	0.0055	0.2705	0.4852	0.6680	0.8295	0.9768
Эталон	0.0056	0.2719	0.4884	0.6731	0.8367	0.9860

Таблица 6.

Температурная зависимость изменений энергии Гиббса для алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием, барием и эталона (Al A5N)

Содержание кальция, стронцием и барием в сплаве, мас.%	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
	Т.К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	-0.0052	-14.406	-52.732	-110.988	-186.565	-277.708
0.01 Ca	-0.0052	-14.394	-52.649	-110.744	-186.048	-276.800
0.05 Ca	-0.0052	-14.392	-52.643	-110.732	-186.028	-276.771
0.1 Ca	-0.0052	-14.390	-52.636	-110.717	-186.003	-276.734
0.5 Ca	-0.0052	-14.373	-52.568	-110.567	-185.738	-276.317
0.01 Sr	-0.0052	-14.393	-52.647	-110.740	-186.042	-276.790
0.05 Sr	-0.0052	-14.389	-52.634	-110.712	-185.995	-276.721
0.1 Sr	-0.0052	-14.383	-52.603	-110.633	-185.839	-276.453
0.5 Sr	-0.0051	-14.345	-52.467	-110.351	-185.371	-275.764
0.01 Ba	-0.0052	-14.393	-52.644	-110.730	-186.019	-276.745
0.05 Ba	-0.0052	-14.388	-52.628	-110.697	-185.964	-276.665
0.1 Ba	-0.0052	-14.381	-52.598	-110.625	-185.830	-276.445
0.5 Ba	-0.0051	-14.339	-52.450	-110.328	-185.350	-275.761
Эталон	-0.0052	-14.412	-52.759	-111.054	-186.690	-277.922

Выводы

1. Исследованием температурной зависимости теплоёмкости алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием в режиме «охлаждения» установлено, что с ростом температуры теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов растут, а по мере увеличения концентрации щелочноземельных металлов в сплаве – уменьшаются. Энергия Гиббса с ростом температуры уменьшается, а от концентрации ЦЗМ – увеличивается.

2. При переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием и барием теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов уменьшаются, величина энергии Гиббса растёт.

Литература

1. *Hyo-Sang Yoo, Yong-Ho Kim, Byoung-Kwon Lee, Eun-Chan Ko, Sang-Chan Lee, Seong-Hee Lee, Hyeon-Taek Son.* Microstructural, Electrical and Mechanical Properties of the Al-Zn-Mg-Mn Alloy with Strontium Addition // Arch. Metall. Mater. –2024. –Vol. –No.1. –P. 53-56. <https://doi.org/10.24425/amm.2024.147784>
2. *Abdo H.S., Seikh A.H., Mohammed J.A., Soliman M.S.* Alloying Elements Effects on Electrical Conductivity and Mechanical Properties of Newly

- Fabricated Al Based Alloys Produced by Conventional Casting Process. // Materials. –2021. –Vol.14. –P. 3971-3981. <https://doi.org/10.3390/ma14143971>
3. *Frank C.* Aluminum alloys for electrical engineering: a review // J. Mater Sci 2024. Vol.59. P. 14847–14892. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-09890-0>
 4. *Syeda A.B., Akhlaq A., Abdul W., Abdul M. et al.* Development of Lightweight Aluminum-Titanium Alloys for Aerospace Applications. Article in Key Engineering Materials September. –2018. –Vol.778. –P. 22-27. <https://www.scientific.net/KEM.778.22>.
 5. *Ganiev I.N., Zokirov F.Sh., Sangov M.M., Ibrokhimov N.F.* Effect of Calcium on the Temperature Dependence of the Heat Capacity and Thermodynamic Function Variability of the AK12M2 Alloy // High Temperature. –2018. –Vol.56. –No.6. –P. 867-872. <https://doi.org/10.1134/S0018151X18060093>
 6. *Киров С.А., Козлов А.В, Салецкий А.М., Харабадзе Д.Э.* Измерение теплоемкости и теплоты плавления методом охлаждения / –М.:ООП. Физ. фак-т МГУ. –2012. –23 с.
 7. *Булкин П.С., Попова И.И.* Общий физический практикум: молекулярная физика: учеб. пособ. / –М.: Изд-во Московского университета. –1988. –215 с.
 8. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики: в 5 т. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика / –М.: Физматлит. –2006. –544 с.
 9. *Зокиров Ф.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Иброхимов Н.Ф.* Влияние кальция на температурную зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АК12М2// Теплофизика высоких температур. –2018. –Т.56. –№6. –С. 891-896. <https://doi.org/10.31857/S004036440003566-6>
 10. *Ганиев И.Н., Зокиров Ф.Ш., Рахматуллоева Г.М., Ходжаназаров Х.М.* Влияние лития, натрия и калия на температурную зависимость теплофизических свойств и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение –2025. –Т.27. –№2. –С. 30-41. <https://doi.org/10.15593/2224-9877/2025.2.04>
 11. *Геращенко Ю.А., Гордов А.Н., Еремина А. К. и др.* Температурные измерения / – Справочник. Киев: Наукова думка. –1989. –704 с.
 12. *Гортышов Ю.Ф., Дресвянников Ф.Н., Иднатулин Н.С.* Теория и техника теплофизического эксперимента / –М.: Энергоатомиздат. – 1985. –360 с.

13. *Зиновьев В.Е.* Теплофизические свойства металлов при высоких температурах / Справ. изд. –М.: Металлургия. –1984. –384 с.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА AlTi0.1 МОДИФИЦИРОВАННОГО КАЛЬЦИЕМ, СТРОНЦИЕМ И БАРИЕМ

Аннотация. В работе представлены результаты определения теплоемкости алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 (Al+0.1 мас. % Ti) с кальцием, стронцием и барием в режиме «охлаждения» по известной теплоемкости эталонного образца из особо чистого алюминия марки А5N (99.999% Al). Получены уравнения, описывающие скорости охлаждения образцов из сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием и эталона. По рассчитанным величинам скоростей охлаждения образцов и теплоемкости эталона сформированы уравнения температурной зависимости теплоемкостей сплавов. Интегрированием удельной теплоемкости вычислены температурные зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса исследуемого сплава. Теплоемкость, энтальпия и энтропия алюминиевого сплава AlTi0.1 с ростом концентрации кальция, стронция и бария уменьшаются, а от температуры увеличиваются, значение энергии Гиббса при этом имеет обратную зависимость.

Ключевые слова: алюминиевый сплава AlTi0,1, кальций, стронций и барий, теплоёмкость, режим «охлаждения», энтальпия, энтропия, энергии Гиббса.

ХОСИЯТҲОИ ТЕПЛОФИЗИКӢ ВА ТАҒИРӢБИИ ФУНКСИЯҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ХӮЛАИ НОҚИЛИ АЛЮМИНИИ AlTi0.1 БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ МОДИФИКАТСИЯШУДА

Фиишурда. Дар мақола натиҷаҳои муайян кардани гармиғунҷоиши хӯлаи ноқили алюминии AlTi0.1 (Al+0,1 мас. % Ti) бо калсий, стронсий ва барий дар ҳолати «сардшавӣ» бо истифода аз гармиғунҷоиши маълуми намунаи пешина аз алюминии аълосифати навъи А5N (99,999% Al) оварда шудааст. Муодилаи тавсифи суръати сардшавии намуна аз хӯлаи ноқили алюминии AlTi0.1 бо калсий, стронсий, барий ва эталон ҳосил карда шуд. Аз рӯи бузургии ҳисоби суръати сардқунии намунаҳо муодилаи вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хӯлаҳо ва эталон тартиб дода шуд. Бо интегратсияи гармиғунҷоиши ҳос вобастагии ҳарорат аз тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаи таҳқиқшаванда ҳисоб карда мешавад. Гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаи алюминии AlTi0.1 бо зиёд шудани концентратсияи калсий, стронсий ва барий кам шуда, бо баланд шудани ҳарорат зиёд мешавад, қимати энергияи Гиббс мутаносибати баръакс дорад.

Калимаҳои калидӣ: хӯлаи ноқили алюминий AlTi0.1, калсий, стронсий ва барий, гармиғунҷоиш, ҳолати « сардшавӣ », энталпия, энтропия, энергияи Гиббс.

THERMOPHYSICAL PROPERTIES AND CHANGES IN THERMODYNAMIC FUNCTIONS OF ALUMINUM CONDUCTOR ALLOY AlTi0.1 WITH CALCIUM, STRONTIUM AND BARIUM

Annotation. The paper presents the results of determining the heat capacity of the aluminum conductor alloy AlTi0.1 (Al+0.1 wt.% Ti) with calcium, strontium and barium in the “cooling” mode using the known heat capacity of a reference sample made of high-purity aluminum grade A5N (99.999% Al). Equations were obtained that describe the cooling rates of samples made of the AlTi0.1 alloy with calcium, strontium and barium and the standard. Based on the calculated cooling rates of the samples and the heat capacity of the standard, equations for the temperature dependence of the heat capacities of the alloys were formed. By integrating the specific heat capacity, the temperature dependences of changes in enthalpy, entropy and Gibbs energy of the alloy under study were calculated. The heat capacity, enthalpy and entropy of the aluminum alloy AlTi0.1 decrease with increasing concentrations of calcium, strontium and barium, and increase with temperature; the value of the Gibbs energy has an inverse relationship.

Key words: aluminum alloy AlTi0.1, calcium, strontium and barium, heat capacity, “cooling” mode, enthalpy, entropy, Gibbs energy.

Сведения об авторе: Зокиров Фуркатшоҳ Шахриерович – к.т.н., доцент кафедри физики Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. **Адрес:** Республика Таджикистан, г. Душанбе, 734042, проспект академиков Раджабовых, 10. **E-mail:** Zokirov090514@mail.ru.

Маълумот дар бораи муаллиф: Зокиров Фуркатшоҳ Шахриерович – н.и.т., дотсенти кафедраи физикаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. **Суроға:** Чумхурии Тоҷикистон, Шаҳри Душанбе, 734042, хиебони академикҳо Раҷабовҳо, 10. **E-mail:** Zokirov090514@mail.ru.

Information about the author: Zokirov Furkatshoh Shakhrieroich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. **Address:** The Republic of Tajikistan, Dushanbe, 734042, Academician Radjabov Avenue, 10. **E-mail:** Zokirov090514@mail.ru.

Рецензент: Сафаров А.Г. – д.т.н., Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАН Таджикистана

Мақола ба редакция ворид шуд: 17.10.2025

Аз тақриз баргашт: 13.01.2026

Ба чоп тавсия шуд: 23.02.2026

УДК: 536.4 + 541.67 + 541.68

ТАҲҚИҚОТИ ФИЗИКИИ ҲОЛАТҲОИ АГРЕГАТӢ, ГУЗАРИШҲОИ ФАЗАВӢ ВА ХУСУСИЯТҲОИ ТЕРМОМЕХАНИКИИ ПОЛИМЕРҲО

Ризоев С.Ғ

Донишгоҳи давлатии Данғара

Полимерҳо ҳамчун моддаҳои муайян мешаванд, ки аз молекулаҳои калон иборат буда, дар навбати худ аз гурӯҳҳои сершумори атомҳо таркиб ёфтаанд, ки ин атомҳо бо воситаи пайвандҳои кимиёвӣ муттаҳид шуда, силсилаҳои дарозро ташкил мекунанд. Пайвастагиҳои калонмолекулаӣ (ПКМ) моддаҳои мураккаби сохтори кимиёвиро дар бар мегиранд, ки массаи молекулаи онҳо аз 10⁴ то 10⁶ Далтонро ташкил медиҳад [4, с. 6-12].

Хусусияти муҳимтарини полимерҳо, ки хосиятҳои физикии онҳоро муайян мекунад, мавҷудияти ду навъи пайвандҳо мебошад, ки аз рӯи табиат ва энергияшон ба кулӣ фарқ мекунанд. Дар дохили занҷир, атомҳо бо пайвандҳои кимиёвии энергияшон дар ҳудуди 30-120 ккал/мол пайваст шудаанд, дар ҳоле ки байни занҷирҳо қувваҳои байнимолекулаӣ бо энергияи хеле камтар (3-12 ккал/мол) таъсир мерасонанд. Масофаҳои байниатомӣ дар дохили занҷир тақрибан 1,5 Å буда, масофаи байни занҷирҳо аз 3 то 4 Å-ро ташкил медиҳад [1, с.26-34].

Хусусияти фарқкунандаи пайвастагиҳои полимерӣ массаи молекулаи баланди онҳост. Аммо, дар асл, полимерҳо, ки молекулаҳои онҳо андозаи якхела доранд, вучуд надоранд, яъне дараҷаи полимеризатсияи онҳо яксон нест [2, с.86-90]. Ҳамзамон дар қатори молекулаҳои хеле калон, молекулаҳои хурдтар (ММ=1000) ва молекулаҳои андозаи миёна низ мавҷуд буда метавонанд. Ин маънои онро дорад, ки полимери додасуда аз рӯи массаи молекулаи гетерогенӣ (полимолекулярӣ) мебошад. Аз ин рӯ, дар химияи пайвастагиҳои калонмолекулаӣ, мафҳуми массаи молекулаи миёна истифода мешавад. Маҷмӯи пайвастагиҳои полимерие, ки сохтори кимиёвии яксон доранд ва фарқиашон танҳо дар бузургии массаи молекулави зоҳир мешавад, қатори полимергомологӣ номида мешавад [5, с.78-86]. Қисмҳои шишамонанди хурдмолекулаӣ аз сабаби ҳаракатнокии (чобукияти) хурди атому молекулаҳо ва бандубасти зич энергияи таъсири мутақобили онҳо хеле калон аст ва бинобар он деформатсияи чандирии чунин қисмҳо низ хеле хурд мебошад. Атому молекула ва ионҳо дар панҷараи кристаллӣ дар чунин масофаҳои ҷойгиранд, ки қувваҳои кашишу таладиҳии байниҳамӣ ҳамдигарро мувозинат мекунанд [8, с.98-100]. Ҳангоми таъсири қувваҳои беруна мувозинатӣ вайрон мешавад. Агар

қувваҳои беруна атому ионҳоро аз ҳамдигар дур карданӣ бошанд, дар байни онҳо қувваҳои кашише пайдо мешаванд, ки ба қувваҳои беруна муқобил равона шудаанд [7, с.75-80]. Агар қувваҳои беруна атому ионҳоро наздик карданӣ бошанд, пас дар байни онҳо қувваҳои теладихӣ пайдо мешаванд. Ҳамин тавр, кори қувваҳои берунаи деформатсиякунанда барои бартараф намудани қувваҳои таъсири мутақобили дохилӣ сарф мешавад, яъне чандирии кристалл табиати (хусусияти) энергетикӣ дорад [6, с.45-51].

Азбаски энергияи таъсири мутақобил дар кристаллҳо хеле бузург аст, ҷисмҳои кристаллӣ барои тағйир ёфтани шаклашон муқовимати калон нишон медиҳанд. Ҳатто ҳангоми таъсири қувваҳои калон онҳо хеле кам деформатсия мешаванд, яъне ба деформатсияи чандирии хурд соҳибанд [6, с.56-61]. Ҳар як модда метавонад дар се навъи гуногуни ҳолатҳои агрегатӣ, яъне газ, моеъ ва сахт мавҷуд бошад, ки ин ҳолатҳо аз рӯи ҳаракати молекулаҳо ё атомҳо ва зичии ҷойгиршавии онҳо бо ҳамдигар фарқ мекунад. Дар ҳолати газӣ, ҳаракатҳои прогрессивӣ, гардишӣ ва ларзишӣ мавҷуданд. Дар шароити муқаррарӣ, масофаи байни молекулаҳои газ калон аст, ки ин ба зичии ҷойгиршавии ками онҳо оварда мерасонад [1, с.124-129].

Барои ҳолати сахт, масофаи байни молекулаҳо хеле хурд буда, зичии ҷойгиршавиашон зиёд аст. Ҳаракатҳои пешраванда ва гардишӣ вучуд надоранд, танҳо ҳаракати ларзишӣ мушоҳида мешавад. Молекулаҳо ё гурӯҳҳои атомҳо дар ҳолатҳои мувозинати доимӣ бо басомади $10^{13} - 10^{14}$ Гц меларзанд. Ҳолати моеъ аз ҷиҳати ҳаракати молекулаҳо ба ҳолати газӣ монанд аст, аммо аз ҷиҳати зичии ҷойгиршавӣ ба ҷисмҳои сахт шабоҳат дорад [3, с.56-62].

Барои фаҳмиши дақиқи ҳолати фазавӣ, мафҳуми фазаро баррасӣ мекунем. Дар термодинамика, фаза қисми система аст, ки аз қисми дигари он бо сатҳи ҷудогона фарқ мекунад ва аз он бо хосиятҳои термодинамикиаш фарқ мекунад. Фаза бояд ҳаҷми кофӣ дошта бошад, то дар бораи фишор, ҳарорат ва дигар хосиятҳои термодинамикии он маълумот дошта бошем. Чунки, аз нуқтаи назари сохтор, фазаҳо бо тартиби ҷойгиршавии молекулаҳо фарқ мекунад ва вобаста аз ин тартиб, се ҳолати фазавӣ - кристаллӣ, моеъ ва газӣ - фарқ мекунад [5, с.54-58].

Ҳолати кристаллии фазавӣ бо тартиби дуру дарози сеченака дар ҷойгиршавии атомҳо ё молекулаҳо тавсиф мешавад, ки ин ҳолати фазавии моеъ бо набудани тӯри кристаллӣ тавсиф ёфта, аморфӣ номида мешавад. Ба ҳолати аморфӣ тартиби наздик хос аст, ки бо андозаи молекулаҳо баробар аст ва полимерҳои кристаллшаванда ҳангоми хунуккунӣ бе ташаккули тӯри кристаллӣ ба ҳолати шишагӣ мегузаранд. Дар шароити

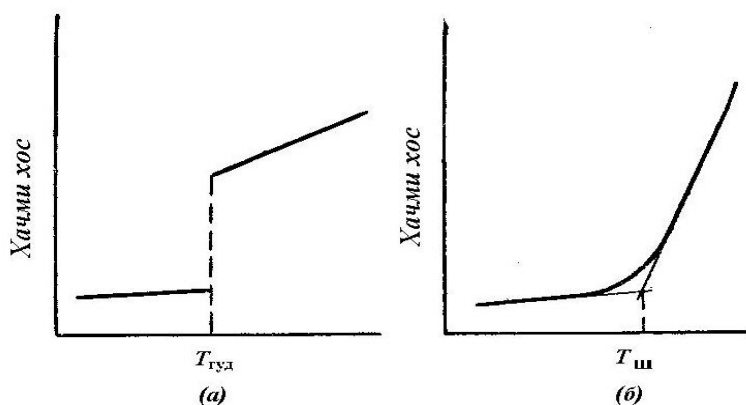
муайяни хунуккунӣ полимери кристаллшавандаро низ дар ҳолати шишагӣ ҳосил кардан мумкин аст [8, с.161-172].

Гузаришҳои фазавӣ гуфта гузаришҳоро аз як ҳолати фазавӣ ба дигараш, яъне гузаришҳои бо тағйирёбии тартиби байниҳамии ҷойгиршавии молекулаҳо ва хосиятҳои термодинамикии модда вобастаро меноманд [7, с.58-64].

Гузаришҳои фазавии навъи як ва ду ро фарқ мекунанд. Дар гузаришҳои фазавии тартиби якум тамоми хосиятҳои термодинамикии модда ҷаҳишнок тағйир ёфта, он бо мавҷудияти гармии ниҳонии гузариш тавсиф меёбад. Ба чунин гузаришҳо гудозиш, кристаллшавӣ табилооти полиморфӣ мисол шуда метавонанд. Масалан, дар нуқтаи гудозиш ҳаҷми хос, гармигунҷоиш, энтропия, энергияи дохилӣ ва потенциали изобарӣ ҷаҳишнок тағйир меёбанд. Дар айни ҳол гармӣ фуру бурда мешавад (гудозиш) ё хориҷ мешавад (кристаллшавӣ) [8, с.39-41].

Гузаришҳои фазавии тартиби дуюм гуфта гузаришҳоеро меноманд, ки дар онҳо тамоми хосиятҳои термодинамикии модда ҷаҳишнок нею, балки бифосила тағйир меёбад. Дар ин гузаришҳо гармии ниҳонии гузариш мавҷуд нест [2, с.79-84].

Дар расми 1а вобастагии ҳаҷми хос аз ҳарорат, ки барои гузариши фазавии тартиби I хос аст (кристаллшавӣ), оварда шудааст. Аз расм дида мешавад, ки вобастагии $V=f(T)$ дар ҳароратҳои аз гудохташавӣ баланд ва паст бо хатҳои рости кунҷи моилии гуногундошта тасвир меёбад. Тағйирёбии ҳаҷм аз ҳарорат бо тағйирёбии масофаи миёнаи байни маркази молекулаҳо вобаста аст [3, с.12-18].



Расми 1. Вобастагии ҳаҷми хос аз ҳарорат ҳангоми кристаллшавӣ (а) ва шишаишавӣ (б).

Дар ҳолати агрегатии моеъ дар ҷойгиршавии молекулаҳои он тартиби наздик ҷой дорад, ки ин тартиб метавонад дар натиҷаи ҳаракати ҳароратӣ вайрон шавад [6, с.157-164].

Чойивазкунии молекулаҳо ҳангоми тағйир ёфтани ҳарорат, яъне гузариш аз як ҳолати мувозинатӣ ба дигараш вақтро талаб мекунад ва вақте, ки дар давоми он система аз як ҳолати мувозинатӣ ба дигараш мегузарад, вақти релаксатсия номида мешавад.

Агар энергияи таъсири мутақобилаи молекулаҳо дар як намуди чойгиршавиашон U_1 ва дар чойгиршавии дигарашон U_2 бошад, пас барои гузариши онҳо аз як ҳолат ба ҳолати дигар энергияи $\Delta U = U_2 - U_1$ –ро сарф кардан лозим аст. Эҳтимолияти гузариши онҳо бо қонуни Болтсман ифода меёбад [4, с.90-9].

$$W = A \exp(-\Delta U/RT) \quad (1)$$

ки дар ин ҷо A - доимӣ, ΔU - энергияи гузариш ё фаълноқӣ, R - доимии газ, T - ҳарорати мутлақ.

Мувофиқи формулаи (1) бо кам шудани ΔU ва баланд шудани ҳарорат эҳтимолияти гузариш (перегруппировка) меафзояд.

Вақти барои гузариши молекула лозима, ё ки вақти релаксатсия τ аз эҳтимолияти гузариш аз як ҳолат ба ҳолати дигар ва энергияи фаълноқӣ, ҳарорат вобастагии зерин дорад:

$$\tau = \tau_0 \exp(-\Delta U/RT) \quad (2)$$

Дар доираи ҳароратҳои баландтар аз нуқтаи яхбандии моеъҳои дорои молекулаҳои хурд, вақти релаксатсия, ки ҳамчун вақти мавҷудияти гурӯҳҳои муташаккили молекулавӣ муайян мешавад, хеле кӯтоҳ буда, тақрибан 10^{-10} сонияро ташкил медиҳад [1, с.12-18]. Дар ин фосилаи вақт, минтақаҳои тартибёфта вайрон ва аз нав ташкил мешаванд ва дар ин вақти кӯтоҳи релаксатсия имкон медиҳад, ки мувозинати гармидиҳиро дар моеъҳои молекулавии хурд зуд ба даст овардан мумкин шавад. Ҳамзамон ҳангоми хунуккунӣ, энергияи ҳаракати молекулавӣ коҳиш ёфта, вақти релаксатсия ба таври экспоненсиалӣ меафзояд ва дар ҳарорати муайян, ҳаракати молекулавӣ ба дараҷае суст мешавад, ки ба ҳолати саҳт мувофиқат мекунад, ки дар натиҷа моеъ саҳт мешавад [2, с.41-54].

Раванди саҳтшавӣ метавонад ба ду шакл сурат гирад: кристаллшавӣ ва шишашавӣ. Кристаллшавӣ ташаккули фазаи нави кристаллӣ мебошад, дар ҳоле ки шишашавӣ гузариши фазавӣ нест, ки ҳангоми хунуккунӣ, часпакии моеъ меафзояд ва энергияи гармии кинетикӣ ($E=kT$) кам шуда, ба ташаккули сохтори кристаллӣ ҳалал мерасонад. Дар ҳарорати мушаххас, часпакӣ ба 10^{13} пуаз мерасад, ки ба часпакии ҷисми саҳт мувофиқ буда, моеъи хунукшуда ба ҳолати шишамонанд мегузарад, бе ташкил кардани панҷараи кристаллӣ.

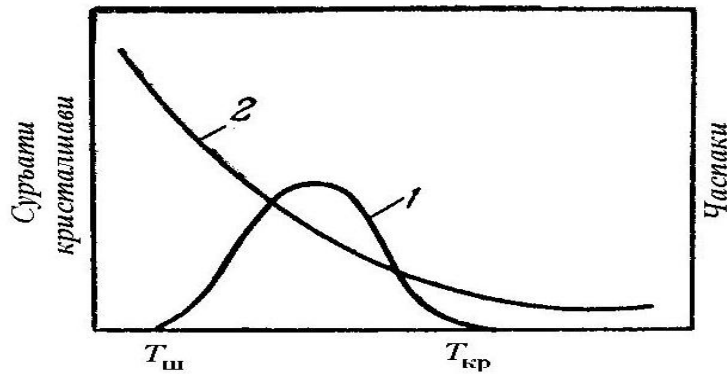
Ҳарорате, ки дар он часпакии маводи аморфӣ ба 10^{13} пуаз баробар аст, ҳарорати шишашавӣ номида мешавад ва бо ($T_{ш}$, T_c , ё T_g) ишора карда мешавад. Дар рафти шишашавӣ, хосиятҳои модда тағйир меёбанд, гузариш аз хосиятҳои моеъ ба хосиятҳои сахт тадричан дар доираи ҳарорати тақрибан $10-20^{\circ}\text{C}$ ба амал меояд. Аз ин рӯ, ҳарорати шишашавӣ нуқта нест, балки арзиши миёнаи ҳарорат дар ин диапазон мебошад [3, с. 59-61].

Мувофиқи назарияи Тамман дар бораи ташаккули фазаи нав, механизми кристаллшавӣ аз пайдоиш ва афзоиши ҷанинҳои фазаи кристаллӣ вобаста аст. Дар ҳарорати баланд, дар ҳама гуна моеъҳо минтақаҳои тартибёфта (тартиби наздик) мавҷуданд, ки аз ҳаракати гармӣ вайрон мешаванд ва эҳтимолияти ташаккули ҷанинҳои фазаи кристаллӣ кам аст. Ҳангоми хунуккунӣ, эҳтимолияти пайдоиши ҷанинҳои кристаллии устувор меафзояд, зеро энергияи ҳаракати гармӣ кам мешавад. Ҳарорате, ки дар он ҷанинҳои устувор пайдо мешаванд, ҳарорати кристаллшавӣ номида мешавад [4, с.145-152].

Суръати кристаллшавӣ, ки ҳамчун миқдори моддаи кристаллшуда дар воҳиди вақт муайян мешавад, бо суръати ташаккул ва рушди марказҳои кристаллизатсия алоқаманд аст, ки ин дар навбати худ ба шиддати ҳаракати гармӣ вобаста аст. Ҳаракати гармӣ дар раванди кристаллшавӣ нақши дугона мебошад: аз як тараф, он ба тартиби ҷойгиршавии молекулаҳо ҳалал мерасонад, аммо аз тарафи дигар, гузаришро аз тартиби наздик ба тартиби дур осон мекунад. Аз ин рӯ, бояд шиддатнокии оптималии ҳаракати гармӣ мавҷуд бошад, ки суръати максималии кристаллшавиро таъмин намояд [6, с.98-102].

Ҳодисаҳои дар ҳарорати пасттар аз $T_{кр}$ баамалояндаро дида мебароем. Бо паст шудани ҳарорат, шиддатнокии ҳаракати гармӣ кам шуда, часпакии система меафзояд. Ҳангоми хунуккунии система, дар минтақаи ҳарорате, ки часпакӣ он қадар баланд нест, гурӯҳбандии молекулаҳо имконпазир аст ва ҳаракати гармӣ имконияти ҳалалдор кардани минтақаҳои тартибёфттаро камтар мекунад. Аз ин рӯ, бо паст шудани ҳарорат, суръати пайдоиши марказҳои кристаллизатсия ва суръати афзоиши онҳо меафзояд [3, с.29-32].

Дар минтақаи ҳарорате, ки часпакӣ хеле баланд аст, гурӯҳбандии молекулаҳо душвор мегардад ва бо паст шудани ҳарорат, суръати кристаллшавӣ суст мешавад. Ҳамин тариқ, вобастагии суръати кристаллшавӣ аз ҳарорат бо хати қачи дорои максимум ифода меёбад.



Рисунки 2. Залежності швидкості кристалізації (1) та частоти (2) від температури.

Температура, що відповідає максимуму на графіку швидкості кристалізації є оптимальною, тому що в цій температурі швидкість кристалізації найбільша. Крім того, важливо врахувати, що температура кристалізації повинна бути вищою за температуру склинення, але нижчою за температуру плавлення.

Для полімерів температура кристалізації повинна бути вищою за температуру склинення, але нижчою за температуру плавлення. Крім того, температура кристалізації повинна бути вищою за температуру склинення, але нижчою за температуру плавлення.

Важливо врахувати, що температура кристалізації повинна бути вищою за температуру склинення, але нижчою за температуру плавлення. Крім того, температура кристалізації повинна бути вищою за температуру склинення, але нижчою за температуру плавлення.

Важливо врахувати, що температура кристалізації повинна бути вищою за температуру склинення, але нижчою за температуру плавлення. Крім того, температура кристалізації повинна бути вищою за температуру склинення, але нижчою за температуру плавлення.

Важливо врахувати, що температура кристалізації повинна бути вищою за температуру склинення, але нижчою за температуру плавлення. Крім того, температура кристалізації повинна бути вищою за температуру склинення, але нижчою за температуру плавлення.

карданд. Коршиносон В.А. Каргин, А.И. Китайгородский ва Г.Л. Слонимский камбудиҳои зеринро нишон доданд:

Молекулаҳои занҷирии чандир бо ҷойгиршавии ғайритартибӣ наметавонанд ба таври зич пайваст шаванд, дар ҳоле ки ҳамаи маълумотиҳои таҷрибавӣ гувоҳӣ медиҳанд, ки полимерҳо бо зичии баланд пайваст мешаванд.

Осонии гузариши фазавӣ, ки ҳангоми гармкунӣ ё хунуккунӣ ба амал меояд, бо тасаввурот аз занҷирҳои печида мувофиқ нест.

Номумкин аст, ки модели полимер таҳия шавад, ки дар он занҷирҳо аз минтақаи тартибшуда хориҷ мешаванд, печида мешаванд ва дубора минтақаи тартибшударо ташкил медиҳанд [1, с.31-42].

Бар асоси тасаввуроти муосир, ки аз тадқиқоти электрон-микроскопӣ бармеояд, полимерҳои аморфӣ аз занҷирҳои печида, ки глобулаҳо ташкил медиҳанд, ё аз занҷирҳои дароз ва ҷамъшуда дар бастҳо иборатанд. Дар баъзе ҳолатҳо, вақте ки макромолекулаҳо дар бастҳо кофӣ чандир бошанд, онҳо метавонанд печида шаванд, ки ин раванд дар тасвирҳои электрон-микроскопӣ мушоҳида карда мешавад [5, с.58-62].

Ташаккули глобулаҳо як марҳилаи миёна дар равандҳои кристаллизатсияи полимерҳо мебошад. Дар ҳолате, ки макромолекулаи полимер дорои сохтори мунтазам ва хусусияти чандирӣ мебошад, гузариши фазавӣ дар дохили глобула имконпазир мегардад, ки ба осонии гардиш ва самти пайвастагиҳо вобаста аст. Аз ин рӯ, полимерҳои бо занҷирҳои мунтазам ва чандир, масалан, полиэтилен ва полипропилен, майл ба кристаллизатсия доранд. Дар занҷирҳои нисбатан саҳт гардиши пайвастагиҳо душвор буда, ҳатто дар дохили глобулаҳои тартибёфта кристаллизатсия маҳдуд мешавад (масалан, селлюлоза). Пас, гузаришҳои фазавӣ дар глобулаҳо танҳо дар сурати мавҷуд будани занҷирҳои мунтазам ва чандир имконпазиранд [6, с.39-44].

Сохторҳои полимерӣ, ки аз ҷои гуногуни ҷойгиршавии молекулаҳо ба вуҷуд меоянд, ҳамчун сохторҳои болои молекулаӣ (надмолекулаӣ) тасниф мешаванд, ки глобулаҳои элементи ибтидоии сохторҳои надмолекулаӣ мебошанд.

Ҳангоми сохтори номунтазми занҷирҳои полимерӣ, ташаккули сохтор дар марҳилаи ташаккули глобулаҳо қатъ мешавад. Дар ҳолати занҷирҳои мунтазам, бо асоси глобулаҳои сохторҳои надмолекулаӣ даратаи дуҷум ба вуҷуд меоянд. Масалан, глобулаҳои метавонанд муттаҳид шуда, ламелҳои риштамонанд ташкил диҳанд. Ламелҳо, ба навбати худ, ҳамдигарро пӯшонда, сохторҳои сферолитиро ба вуҷуд меоранд. Марҳилаи

ниҳони ташаккули сохтор ҳузури кристаллҳои алоҳида бо андозаи чанд микрометр то 100 мкм мебошад. Сферолитҳои сохторҳои миёнарав буда, пеш аз пайдоиши кристаллҳои алоҳида ҷойгир мешаванд [2, с.99-112].

Ташаккули сферолитҳои калон (то якчанд миллиметр) ё монокристаллҳои калон ба равандҳои моддаҳои каммолекула монанд аст. Дар ҳалҳои полимерӣ нӯги кристаллизатсия пайдо мешавад; нӯгҳои хурд ҳал шуда, тавассути онҳо сферолитҳои калонтар афзоиш меёбанд (раванди рекристаллизатсия). Кристаллизатсияи полимер дар ҳудуди муайяни ҳарорат сурат мегирад – аз ҳарорати шишамонандӣ то ҳарорати обшавӣ. Дар ҳароратҳои пасттар аз T_g ҳаракати гармии пайваस्ताгиҳо ночиз буда, полимери қобили кристаллизатсия кристалл намешавад [7, с.19-42].

Мувофиқи тасаввурот оид ба шишашавии ҷисмҳои массаи молекулашон хурд ҳарорате, ки дар он модда бе ҳосил кардани панҷараи кристаллӣ саҳт мешавад, ҳарорати шишашавӣ номида мешавад. Барои полимерҳои кристаллшаванда ҳарорати шишашавӣ ҳамеша аз ҳарорати кристаллшавӣ пасттар аст.

Азбаски шишашавии полимерҳо сабаби пайдошавии панҷараи кристаллӣ намегардад, ин раванд гузариши фазавӣ нест. Дар ҳарорати аз ҳарорати шишашавӣ паст ва баланд полимер дар як ҳолати фазавӣ-аморфӣ аст [3, с.101-112].

Полимерҳои хаттии аморфӣ вобаста аз ҳарорат метавонанд дар 3 ҳолати физикӣ- шишамонанд, баландэластикӣ ва часпаку сайёл бошанд.

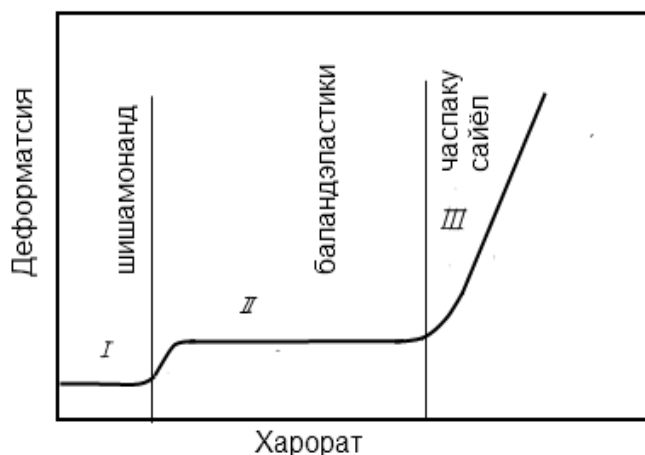
Ҳолати шишамонанд бо ҳаракати лаппандаи атомҳои занҷир дар ҳолати мувозинатӣ тавсиф меёбад. Ҳаракати лаппандаи звеноҳо ва ҷойивазкунии яклухти занҷир дида намешавад. Ҳолати баландэластикӣ бо ҳаракати лаппандаи звеноҳо (лаппишҳои чархон) тавсиф меёбад, ки дар натиҷа занҷири полимерӣ қобилияти хаширо пайдо мекунад. Ҳолати часпаку сайёл бо ҳаракатнокии тамоми макромолекула тавсиф меёбад.

Ҳангоми гармкунии полимер аввал ҳаракати лаппандаи звеноҳо ва танҳо дар ҳароратҳои баландтар ҳаракати занҷирҳо рӯй медиҳад. Ҳамин тариқ, бо баланд шудани ҳарорат полимери хаттии аморфӣ аз ҳолати шишамонанд ба ҳолати баландэластикӣ ва баъд ба ҳолати часпаку сайёл мегузарад. Бо пастшавии ҳарорат полимер ҳар се ҳолатро дар тартиби баръакс (чаппа) мегузарад [8, с.25-42].

Гузариши полимер аз як ҳолати физикӣ ба дигараш на дар як ҳарорати муайян, балки дар ягон соҳаи ҳарорат ба амал меояд. Ҳароратҳои миёнаи соҳаҳои гузариш ҳароратҳои гузариш номида мешаванд.

Ҳарорати гузариш аз ҳолати шишамонанд ба ҳолати баландэластикӣ (ва баръакс) ҳарорати шишашавии полимер номида шуда, $T_{ш}$ ё T_g ишора карда мешавад. Ҳарорати гузариш аз ҳолати баландэластикӣ ба ҳаспаку сайёл ҳарорати ҷоришавӣ T_c (T_f) номида мешавад.

Ҳангоми гармкунии полимери кристаллӣ дар ҳарорати аз ҳарорати гудозиш баланд он аввал ба ҳолати баландэластикӣ ва пас ба ҳолати ҳаспаку сайёл мегузарад. Фосилаи байни ҳарорати гудозиш ва ҳарорати ҷоришавии полимер, ки ба ҳолати баландэластикӣ мувофиқ меояд, бо афзудани массаи молекули меафзояд. Полимери кристаллшавандаи массаи молекулии хурддошта метавонад яқбора ба ҳолати ҳаспаку сайёл гузара [5, с.89-92].



Расми 3. Қачии термомеханикии полимер.

Қисмҳои массаи молекулии хурддошта ва полимерҳои массаи молекулиашон хурд аз ҳолати шишамонанд ба моеъ мегузаранд. Полимерҳо бошанд, ҳангоми гармкунӣ аз ҳолати шишамонанд ба баландэластикӣ ва пас ба ҳолати ҳаспаку сайёл мегузаранд. Бинобар он ҳароратҳои шишашавӣ ва ҷоришавии полимерҳо фарқ мекунанд.

Гузариши полимерро аз ҳолати баландэластикӣ ба ҳолати (ҳаспаку сайёл) аз тағйирёбии деформатсия вобаста аз ҳарорат муайян намудан мумкин аст. Қачии вобастагии деформатсия аз ҳароратро қачии термомеханикӣ меноманд.

Барои полимерҳои аморфии ҳаттии массаи молекулиашон калон қачии термомеханикӣ 3 соҳа (қитъа) дорад, ки ба 3 ҳолати физикӣ мувофиқ меояд (расми 12). Соҳаи якум (I) ба ҳолати шишамонанд мувофиқ меояд, ки бо деформатсияҳои хурд барои қиматҳои на он қадар калони шиддат тавсиф меёбад. Соҳаи дуюм (II) - ба ҳолати баландэластикӣ тааллуқ дорад, ки ба он деформатсияҳои калони баргарданда мувофиқ меояд. Ба ин деформатсия деформатсияи ҷоришавӣ зам мешавад, ки он бо афзоиши

ҳарорат меафзояд. Дар ҳароратҳои баландтар кӯчиши нисбии занҷирҳо чунон осон мегардад, ки чоришавии ҳақиқӣ рӯй медиҳад.

Дар соҳаи муайяни ҳарорат полимер аз ҳолати баландэластикӣ ба ҳолати часпаку сайёл мегузарад. Ин гузариш бо якбора афзудани бузургии деформатсия тавсиф меёбад (соҳаи III).

Ҳарорати гузариш аз ҳолати баландэластикӣ ба часпаку сайёл (ҳарорати чоришавӣ T_c ё T_f) нуқтаи алоҳида набуда, балки ҳарорати миёнаи он соҳаест, ки дар он чоришавии ҳақиқии полимер рӯй медиҳад [8, с.39-42].

Адабиёт

1. *Тагер А.А.* Физикохимия полимеров -М.: Химиздат, 1963-200 саҳ.
2. *Гуль В.Е., Кулезнев В.Н.* Структура и механические свойства полимеров. - М.: Высшая школа, 1972-245 саҳ.
3. *Бартенев Г.М., Френкель С.Я.* Физика полимеров. - Л.: Химия, 1990-250 саҳ.
3. *Бартенев Г.М., Зеленов Ю.В.* Курс физики полимеров. - Л.: Химия, 1990 -330 саҳ.
4. *Шур А.М.* Высокомолекулярные соединения. М.: Высшая школа, 1968-350 саҳ.
5. *Абдуллоев Ҳ.М., Қурбоналиев М.Қ., Чанобилов Қ., Рашидов Қ.* - 330 саҳ.
6. Корҳои лабораторӣ аз реологияи полимерҳо (дастури методӣ). - Душанбе: ДДОТ, 2001-150саҳ.
7. *Абдуллоев Ҳ.М., Табаров С.Х., Тӯйчиев Ш.Т., Қодиров Б.А.* Корҳои лабораторӣ доир ба курси махсуси «Усулҳои таҳқиқи сохтор ва хосиятҳои ҷисмҳои сахт ва полимерҳо (дастури методӣ). - Душанбе: Дониш, 2004-320 саҳ.
8. *Кузнецов Е.В., Дивгун С.М., Бударина Л.А., Аввакумова Н.И., Куренков В.Ф.* Практикум по химии и физике полимеров. М.: Химия, 1977380 саҳ.

ТАҲҚИҚОТИ ФИЗИКИИ ҲОЛАТҲОИ АГРЕГАТӢ, ГУЗАРИШҲОИ ФАЗАВӢ ВА ХУСУСИЯТҲОИ ТЕРМОМЕХАНИКИИ ПОЛИМЕРҲО

Фиишурда. Дар кори мазкур суҳан дар бораи ҳолатҳои агрегати ва гузариши фазавии полимерҳо ва дар моеъҳо афзудани дарозии макромолекулаҳо маълумот оварда шудааст. Ҳангоми гармкунии полимери кристаллӣ дар ҳарорати аз ҳарорати гудозиш баланд он аввал ба ҳолати баландэластикӣ ва пас ба ҳолати часпаку сайёл мегузарад. Фосилаи байни ҳарорати гудозиш ва ҳарорати чоришавии полимер, ки ба ҳолати баландэластикӣ мувофиқ меояд, бо афзудани массаи молекулаи меафзояд.

Полимери кристаллшавандаи массаи молекулии хурддошта метавонад якбора ба ҳолати часпаку сайёл гузарад. Муайян карда шудааст, ки ҳангоми шиддат суръати кӯчишро афзудан, полимер ба соҳаи ҷоришавие мегузарад, ки дар он аз сабаби баланд будани суръати кӯчиш танҳо як қисми сохторҳои боломолекулии ҳангоми кӯчиш вайроншуда имкони барқарор шуданро доранд, ва бо афзудани дарозии макромолекулаҳо ҳам миқдори гирехҳо ва ҳам миқдори ассотсиатҳо хеле меафзоянд.

Калидвожаҳо: гузаришкунанда, полимер, макромолекула, лағжиш, сегментҳо, часпаки, эффективӣ, шиддат, энталпия ҳарорат.

ФИЗИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ, ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В данной работе речь идет об агрегатных состояниях и фазовых переходах полимеров и в жидкостях об увеличении длины макромолекул. При нагревании кристаллического полимера при температурах, превышающих температуру плавления, он переходит сначала в высокоэластичное состояние, а затем в вязкоупругое состояние. Интервал между температурой плавления и температурой текучести полимера, соответствующей состоянию высокой упругости, увеличивается с увеличением молекулярной массы. При этом он может превращаться в мелкодисперсный полимер с небольшой молекулярной массой, который может мгновенно переходить в вязкое и гладкое состояние. Установлено, что при увеличении интенсивности скорости миграции полимер переходит в область текучести, в которой из-за высокой скорости миграции восстанавливается только часть разрушенных при миграции надмолекулярных структур, а с увеличением длины макромолекул значительно увеличивается как количество узлов, так и количество ассоциаций.

Ключевые слова: проницаемость, полимер, макромолекула, проскальзывание, сегменты, вязкость, эффективность, напряжение, энтальпия, температура.

PHYSICAL STUDY OF AGGREGATE STATES, REGULARITIES OF PHASE TRANSITIONS, AND THERMOMECHANICAL PROPERTIES OF POLYMERIC MATERIALS

Annotation. In this paper, we are talking about the aggregate states and phase transitions of polymers and, in liquids, an increase in the length of macromolecules. When a crystalline polymer is heated at temperatures above the melting point, it first passes into a highly elastic state, and then into a viscoelastic state. The interval between the melting point and the flow temperature of the polymer, corresponding to the state of high elasticity, increases with increasing molecular weight. At the same time, it can turn into a finely dispersed polymer

with a small molecular weight, which can instantly transform into a viscous and smooth state. It has been established that with an increase in the intensity of the migration rate, the polymer passes into the region of fluidity, in which, due to the high migration rate, only a part of the supramolecular structures destroyed during migration are restored, and with an increase in the length of macromolecules, both the number of nodes and the number of associations significantly increase.

Keywords: permeability, polymer, macromolecule, slippage, segments, viscosity, efficiency, stress, enthalpy, temperature, stickiness.

Маълумот дар бораи муаллиф: Ризоев Сирочиддин Гуломович – н.и.т., и.в. дотсенти кафедраи физика ва географияи Донишгоҳи давлатии Данғара. Суроға: 734025 Ҷумҳурии Тоҷикистон ноҳияи Данғара кучаи Маркази 25. Телефон: 202222262

Информация об авторе: Ризоев Сироджиддин Гуломович – к.т.н., и.о. доцента кафедри физики и географии Дангаринского государственного университета. Адрес: 734025 Республика Таджикистан, Дангаринский район, улица Маркази, 25. Телефон: 202222262

Information about the author: Rizoev Sirodjiddin Gulomovich-Ph.D.- Acting Associate head of the Department of Physics and Geography of the Dangara State University. Address: 734025 Republic of Tajikistan Dangara district Central street 25. Phone: 202222262

Муқарриз: Алимардонов Э. – н.и.ф.-м., дотсенти Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав

Мақола ба редакция ворид шуд: 06.01.2026

Аз тақриз баргашт: 03.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 05.03.2026

**АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ**

Махмудзода А.М., Умаров М.Ф.

**ГОУ «Худжандский государственный университет имени академика
Бободжона Гафурова»**

Введение и актуальность. В последние годы интерес к фотолюминесценции (ФЛ) в фармацевтических исследованиях значительно возрос. Потребность в создании инновационных медикаментов и совершенствовании способов их оценки обуславливает важность данной области исследований. Спектральные характеристики ФЛ могут помочь в понимании механизмов действия препаратов, а также в оценке их биодоступности и токсичности. Таким образом, изучение спектральных особенностей ФЛ фармацевтических веществ предоставляет значительные возможности для создания и улучшения лекарственных препаратов, определяя ее перспективность для будущих научных работ.

Одним из перспективных направлений в этой области является исследование спектров вторичного излучения, которое позволяет получать важную информацию о составе, структуре и свойствах фармацевтических субстанций. Внедрение малогабаритных систем регистрации спектров открывает новые возможности для проведения оперативного и высокоточного анализа непосредственно в лабораторных условиях или на производстве.

Актуальность темы обусловлена современными требованиями к контролю качества и безопасности лекарственных средств. В условиях постоянного роста ассортимента фармацевтической продукции и ужесточения нормативных стандартов возникает необходимость в оперативных, точных и мобильных методах анализа, которые позволят проводить мониторинг состава и свойств препаратов непосредственно на производстве или в местах реализации.

Использование малогабаритных систем регистрации вторичного излучения открывает новые возможности для быстрого и неразрушающего контроля фармацевтических препаратов. Такие системы обеспечивают высокую чувствительность и точность измерений, при этом отличаются компактностью и удобством эксплуатации, что особенно важно для мобильных лабораторий и полевых условий.

Цель работы и задачи. Целью данной статьи является разработка и исследование методов анализа спектров вторичного излучения

фармацевтических препаратов с использованием малогабаритной системы регистрации. Это позволит повысить точность и оперативность контроля качества лекарственных средств, а также обеспечить возможность проведения анализа непосредственно в производственных или клинических условиях. Основные задачи статьи включают:

1. Изучение принципов работы малогабаритных систем регистрации спектров вторичного излучения и их применимость к фармацевтической продукции.

2. Разработка методики сбора и обработки спектральных данных с использованием компактного оборудования.

3. Проведение экспериментальных исследований для оценки чувствительности и точности анализа различных фармацевтических препаратов.

4. Разработка программы, позволяющая производить идентификацию компонент фармацевтических соединений, на основе анализа фотолюминесцентных спектров вторичного излучения.

5. Создание базы данных спектральных характеристик фотолюминесценции фармацевтических препаратов для дальнейшего использования.

Решение этих задач позволит не только расширить наши знания о фотолюминесцентных свойствах фармацевтических препаратов, но и откроет новые возможности для их практического применения в медицине и фармацевтике. Для достижения этой цели применяются разнообразные спектральные методики, такие как флуоресцентная спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС), нелинейная оптическая спектроскопия и другие [1, с. 146; 2, с. 461; 3, с. 5].

В рамках этого исследования мы провели сравнительный анализ спектров фотолюминесценции и рассчитали коэффициенты корреляции между реальными и эталонными фармацевтическими лекарственными средствами, представленными различными торговыми марками.

Методика эксперимента и образцы для исследования. Спектральные характеристики люминесценции фармацевтических соединений регистрировались методом возбуждения с использованием четвертой гармоники лазера на алюмоиттриевом гранате (длина волны 266 нм) [4, с. 436; 5, с. 28]. Схематичное изображение экспериментальной установки представлено на рисунке 1.

Рис.1. Схема экспериментальной установки для регистрации спектров вторичного излучения

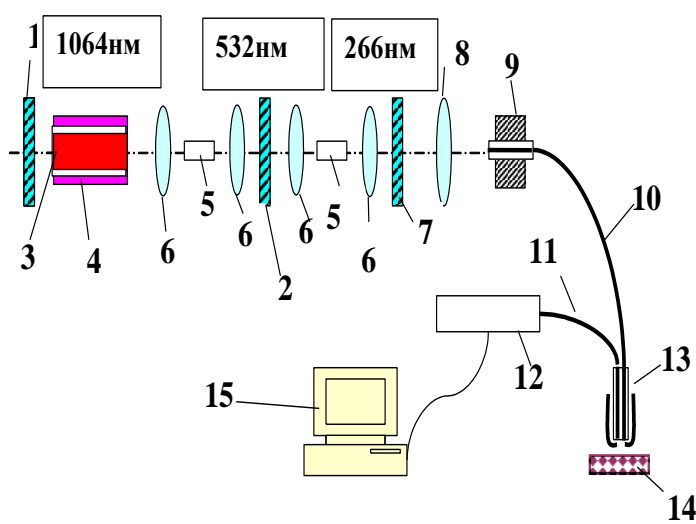


Рис.1. Схема экспериментальной установки для регистрации спектров вторичного излучения: 1, 2, 7 - зеркала; 3 - активный элемент; 4 - накачка; 5 - нелинейный кристалл; 6 - линза; 8 - конденсор; 9 - фиксатор световода; 10, 11 - световод; 12 - миниспектрометр FSD-8; 13 - цилиндрическая кювета диаметром 1мм; 14 - исследуемое вещество; 15 - компьютер.

В качестве источника ультрафиолетового света для возбуждения использовался четвертый гармонический сигнал от лазера на основе алюмоиттриевого гранате, создающий последовательные импульсы с длиной волны 1064 нм.

Лазер обладал средней мощностью в 10 милливатт, частотой повторения импульсов 3000 раз в секунду и продолжительностью каждого импульса – 10 наносекунд. Пиковая интенсивность ультрафиолетового излучения, попадающего на поверхность изучаемого материала, составляла до 10^5 Вт/см². Незначительное количество анализируемого соединения (около 10 мг, см. рис. 1), в виде таблетки или жидкости, размещалось в специализированной ячейке (13, см. рис. 1).

С целью направления ультрафиолетового излучения к образцу и регистрации флуоресцентного излучения, генерируемого им, применялся кварцевый световод (10 и 11, рис.1), которое направлялось к компактному миниспектрометру FSD-8 (12, рис.1). Разрешение по поверхности анализируемого материала составляло 0,1 мм. Этот спектрограф обеспечивал запись спектров фотолюминесценции в пределах длин волн от 200 до 1000 нм при времени воздействия от 0,01 до 0,1 секунды. Полученные данные о спектрах вторичного излучения поступали на компьютер для дальнейшей обработки, что позволило нам создать нормализованные спектры вторичного излучения лекарственных средств.

Для изучения были отобраны распространенные лекарственные средства – аспирин, анальгин, цитрамон, парацетамол и кофеин, так как эти лекарства входят в список важнейших лекарственных средств Всемирной организации здравоохранения.

В качестве спектрального прибора использован миниспектрометр FSD-8, предназначенный для регистрации спектров вторичного излучения в области как видимого диапазона, так и областей ближайших инфракрасного и ультрафиолетового излучения и оборудован цифровым выходом, который соединен с компьютером [6, с. 94].

Миниспектрометр FSD-8 обладает малыми габаритами и оснащен высокоскоростным портом обмена информацией USB, служащим для его совместной работы с персональным компьютером (или ноутбуком). В качестве входной оптической щели измерительной схемы служит оптическое волокно диаметром 50 мкм, снабженное оптическим разъемом, установленным на стенке прибора и позволяющим подключать внешний оптоволоконный кабель для доставки оптического излучения. Следует отметить, что мобильность прибора ограничена только длинами оптоволоконного и USB кабелей.

Полученные в ходе эксперимента спектрометрические данные посредством специальной программы Origin Pro 8.0 переводились в табличную форму и заносились в память компьютера для последующего хранения и обработки.

На рис. 2 представлена электрическая диаграмма миниспектрометра FSD – 8.

Рис. 2. Электрическая диаграмма миниспектрометра FSD-8

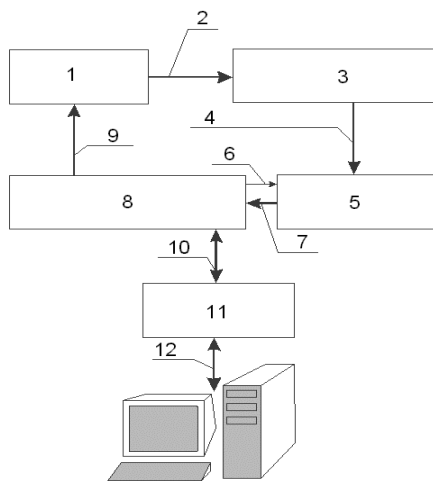


Рис. 2. Электрическая диаграмма миниспектрометра FSD-8. 1 – оптический датчик; 2 – видеосигнал; 3 – нормализующий усилитель; 4 – нормализованный видеосигнал; 5 – АЦП (14 разрядов); 6 – видеоданные; 7 – сигнал управления; 8 – микропроцессор с видеопрограммой; 9 – синхропоследовательность; 10 – данные для обмена с компьютером; 11 – контроллер USB; 12 – связь с компьютером.

Полученный с оптического датчика (1) видеосигнал (2) усиливается и нормализуется по уровню. Нормализующий усилитель (3) также демпфирует выходные цепи оптического датчика. Далее сигнал поступает на АЦП (5), управление которым осуществляется микропроцессором (8) синхронно с управлением оптическим датчиком, т.е. оцифровка уровня видеосигнала происходит только в моменты последовательного выбора светочувствительной ячейки датчика. Передача оцифрованных данных осуществляется посредством

контроллера USB (11) непосредственно в управляющую программу “FSD Soft” персонального компьютера по стандартному кабелю (12).

Алгоритм программы анализа экспериментальных результатов. Для упрощения обработки результатов, полученных в ходе экспериментов, в среде Borland C++ Builder 6.0 была написана программа, позволяющая производить анализ спектров ФЛ исследуемых химических соединений. Данная программа позволяет осуществлять идентификацию компонентов соединений, посредством сопоставления их спектров ФЛ с эталонными спектрами веществ, занесенными в базу данных.

Главное окно программы представлено на рис. 3.

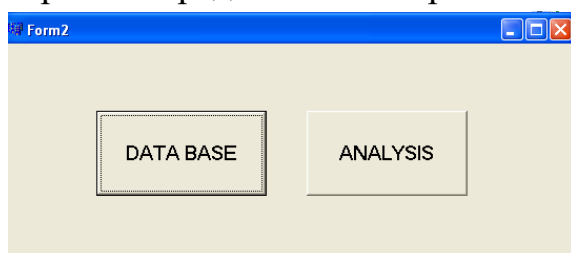


Рис. 3. Главное окно программы

На главном окне программы расположены следующие диалоговые элементы:

1. Кнопка «DATA BASE»,
2. Кнопка «ANALYSE».

После нажатия кнопки «DATA BASE» на экране появляется окно программы, представленное на рис. 4.

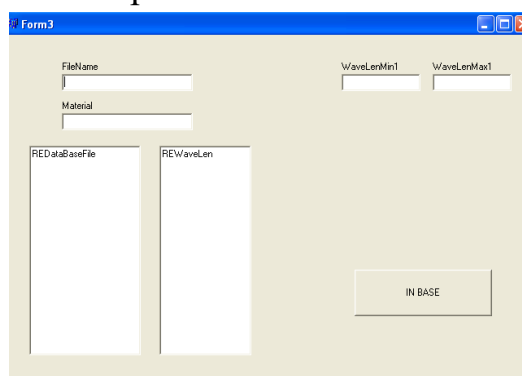


Рис. 4. Диалоговое окно для записи спектров в базу данных

Здесь пользователь может произвести запись эталонного спектра ФЛ какого-либо вещества в базу данных. Для этого ему необходимо:

- 1) указать название этого вещества в графе «Material»;
- 2) указать область спектра (в нанометрах), где проявляются линии ФЛ, характерные для данного вещества: минимальное значение длины волны

указывается в графе «WaveLenMin1», максимальное значение длины волны указывается в графе «WaveLenMAX1»;

- 3) нажать кнопку «IN BASE»;
- 4) выбрать файл, содержащий спектр ФЛ данного вещества;
- 5) указать папку, в которой хранятся эталонные спектры ФЛ.

Результатом записи спектра ФЛ в базу данных является создание двух файлов. В первом файле записывается название вещества и его спектр вторичного излучения в табличном виде, содержимое этого файла отображается в окне «REData BaseFile». Во втором файле записывается область спектра, указанная пользователем, где проявляются линии ФЛ данного вещества, содержимое этого файла отображается в окне «REWaveLen».

После нажатия кнопки «ANALYSE» на главном окне программы на экране появляется диалоговое окно, представленное на рис. 5.

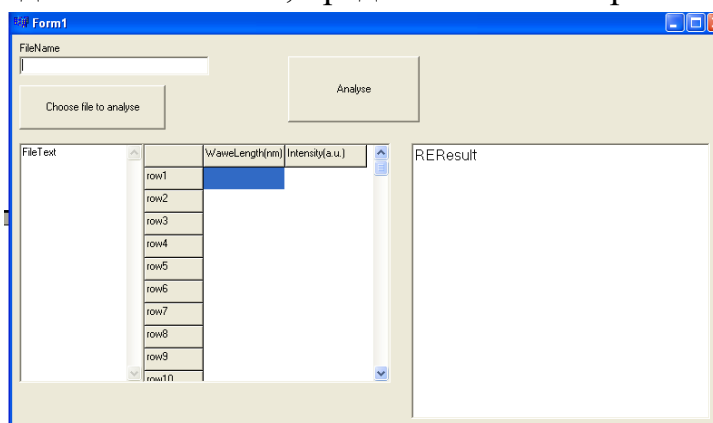


Рис. 5. Диалоговое окно для анализа спектров исследуемых веществ

Здесь пользователь может провести идентификацию компонентов исследуемого соединения на основе сопоставления его спектра ФЛ со спектрами ФЛ веществ, находящихся в базе данных. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- 1) Нажать кнопку «Choose file to analyse»;
- 2) Выбрать файл, содержащий спектр вторичного излучения исследуемого вещества;
- 3) Нажать кнопку «Analyse»;
- 4) Выбрать папку, содержащую базу данных эталонных спектров КР.

Анализ спектра вторичного излучения исследуемого соединения в программе осуществляется на основе поиска коэффициентов корреляции этого спектра со спектрами ФЛ веществ из базы данных и включает в себя следующие этапы:

- 1) На первом этапе осуществляется нормализация полученного спектра и эталонного спектра в исследуемой области ($\lambda_{\min}; \lambda_{\max}$);

2) На втором этапе рассчитывается коэффициент корреляции (r_i) спектров КР веществ из базы данных и спектра вторичного излучения исследуемого соединения по формуле:

$$r_i = \frac{\langle \tau_i - \bar{\tau}_i, \tau - \bar{\tau} \rangle}{\sqrt{\langle (\tau_i - \bar{\tau}_i)^2 \rangle \cdot \langle (\tau - \bar{\tau})^2 \rangle}}, \quad (1)$$

где τ – измеренный спектр вторичного излучения исследуемого соединения, τ_i – спектр КР i -го вещества из базы данных. Здесь скалярные произведения и средние значения вычисляются следующим образом:

$$\langle A, B \rangle = \frac{1}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \cdot \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} A(\lambda)B(\lambda)d\lambda, \quad (2)$$

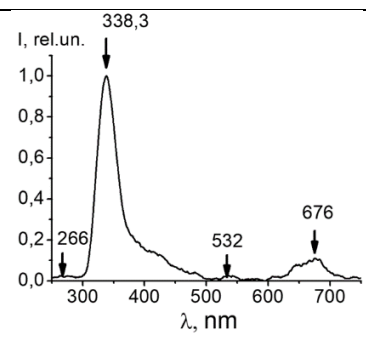
$$\bar{A} = \frac{1}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \cdot \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} A(\lambda)w(\lambda)d\lambda. \quad (3)$$

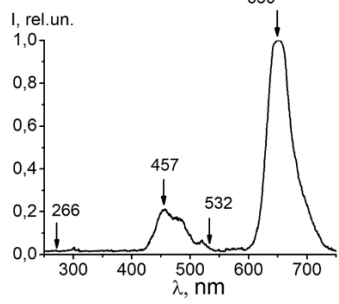
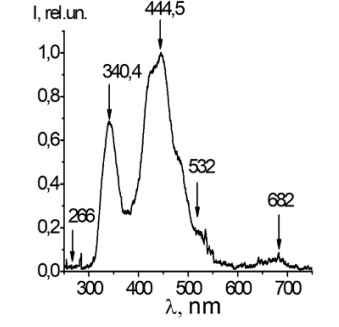
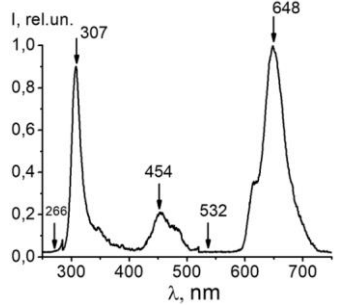
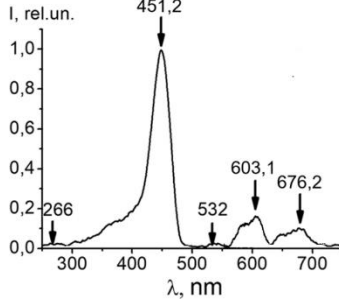
В результате в окне «REResult» (рис. 5) выводятся значения коэффициентов корреляции, соответствующие каждому веществу из базы данных. По этой информации пользователь имеет возможность определить компоненты, входящие в состав исследуемого соединения.

Результаты анализа. Для тестирования разработанной программы в базу данных была занесена информация по пяти исследуемым в работе веществам: аспирин, анальгин, цитрамон, парацетамол и кофеин. Для этого для каждого из веществ был выбран эталонный спектр ФЛ, а также экспериментально определен оптимальный спектральный диапазон для анализа (табл. 1).

Таблица 1.

Информация, занесенная в базу данных для анализа

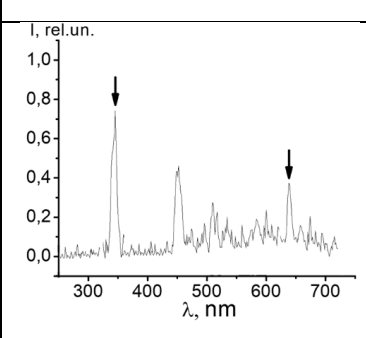
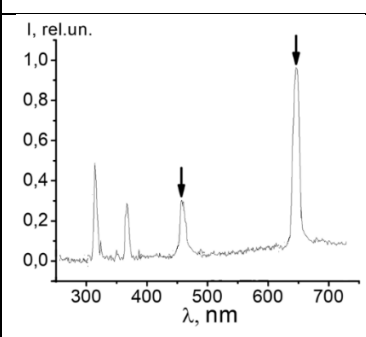
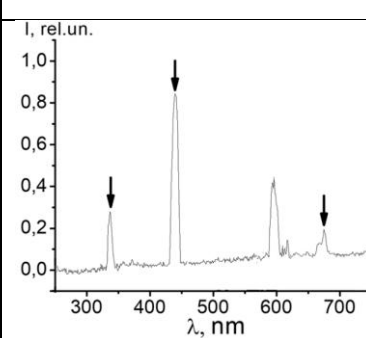
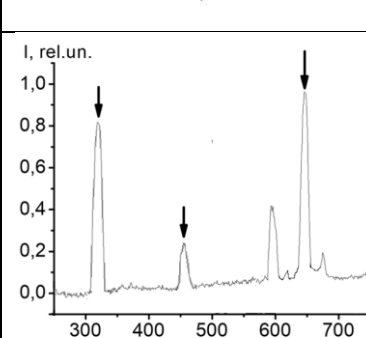
Вещество	Спектральный диапазон для анализа (нм)	Эталонный спектр ФЛ
Аспирин (C ₉ H ₈ O ₄)	250 – 750	

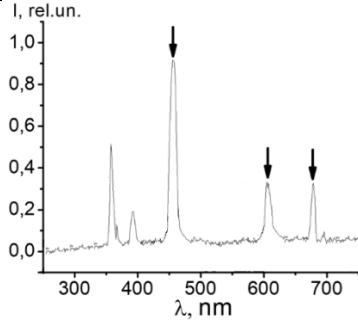
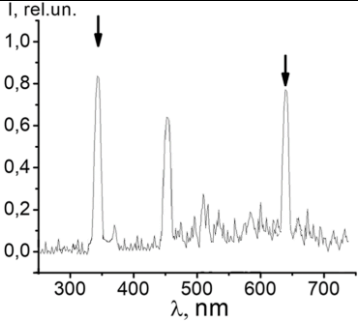
<p>Анальгин ($C_{13}H_{16}N_3NaO_4S$)</p>	<p>250 – 750</p>	
<p>Цитрамон ($C_9H_8O_4 + C_8H_{10}N_4O_2 + C_{10}H_{13}NO_2$)</p>	<p>250 – 750</p>	
<p>Парацетамол ($C_8H_9NO_2$)</p>	<p>250 – 750</p>	
<p>Кофеин ($C_8H_{10}N_4O_2$)</p>	<p>250 – 750</p>	

Результаты исследования экспериментальных спектров при помощи программы представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты исследования спектров вторичного излучения при помощи программы

№	Исследуемое соединение	Спектр вторичного излучения исследуемого соединения	Коэффициенты корреляции (r_i) с базовыми спектрами веществ	Результат анализа ($r_i > 0.95$)
1	Аспирин ($C_9H_8O_4$)		Аспирин = 0,968 Анальгин = 0,387 Цитрамон = 0,506 Парацетамол = 0,314 Кофеин = 0,297	Аспирин
2	Анальгин ($C_{13}H_{16}N_3NaO_4S$)		Аспирин = 0,368 Анальгин = 0,961 Цитрамон = 0,412 Парацетамол = 0,244 Кофеин = 0,198	Анальгин
3	Цитрамон ($C_9H_8O_4 + C_8H_{10}N_4O_2 + C_{10}H_{13}NO_2$)		Аспирин = 0,589 Анальгин = 0,387 Цитрамон = 0,966 Парацетамол = 0,567 Кофеин = 0,512	Цитрамон
4	Парацетамол ($C_8H_9NO_2$)		Аспирин = 0,245 Анальгин = 0,389 Цитрамон = 0,554 Парацетамол = 0,959 Кофеин = 0,317	Парацетамол

5	Кофеин (C ₈ H ₁₀ N ₄ O ₂)		Аспирин = 0,235 Анальгин = 0,412 Цитрамон = 0,606 Парацетамол = 0,365 Кофеин = 0,971	Кофеин
6	Аспирин + Al ₂ O ₃ (нано порошок)		Аспирин = 0,981 Анальгин = 0,367 Цитрамон = 0,512 Парацетамол = 0,351 Кофеин = 0,252	Аспирин

В этой таблице приведены спектры вторичного излучения различных соединений (стрелками обозначены линии ФЛ, характерные для исследуемых образцов), а также результаты расчета коэффициентов корреляции этих спектров со спектрами ФЛ веществ, находящихся в базе данных. Как видно из таблицы пороговое значение коэффициента корреляции для достоверного обнаружения какого-либо вещества в исследуемом соединении составляет 0,95.

Заключение

1. Разработана методика получения спектров ФЛ фармацевтических соединений, основанная на использовании импульсно-периодического лазерного источника излучения, кварцевых световодов для ввода возбуждающего лазерного излучения в рассеивающую среду и вывода вторичного излучения из кюветы, а также малогабаритного миниспектрометра.

2. При помощи разработанной экспериментальной установки получены спектры ФЛ ряда фармацевтических препаратов.

3. Разработана программа, позволяющая проводить быструю идентификацию химических соединений. Работа программы основана на поиске коэффициентов корреляции спектров вторичного излучения исследуемых химических соединений и спектров ФЛ веществ, находящихся в базе данных.

4. Создана база данных спектральных характеристик ФЛ фармацевтических препаратов для дальнейшего использования.

Разработанный метод регистрации и анализа спектров ФЛ открывает возможность для создания малогабаритных лазерных анализаторов химических соединений, необходимых для решения многих практических задач.

Литература

1. *Lakowicz, R. J.* Principles of Fluorescence Spectroscopy: study book / *R. J. Lakowicz.* - N.Y.: Springer Science, 2006. – 960 p.
2. *Pramanik, A.* Fluorescence Correlation Spectroscopy (FCS) / *A. Pramanik, J. Widengren* // Encyclopedia of Molecular Cell Biology and Molecular Medicine / ed. by Robert A. Meyers. – Berlin: Wiley-VCH Verlag, 2004. - P. 461-500.
3. *Бойко, В.В.* Фотолюминесценция ароматических соединений при возбуждении ультрафиолетовым светодиодом / *В.В. Бойко* // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2013. - №8. - URL: <https://rucont.ru/efd/276760> (дата обращения: 22.01.2026).
4. *Горелик, В.С.* Спектры фотолюминесценции лекарственных препаратов при возбуждении ультрафиолетовым лазерным излучением / *В.С. Горелик, М.Ф. Умаров* // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6-3. С. 436-440.
5. *Умаров, М.Ф.* Фотолюминесценция ароматических соединений, находящихся в фотонных ловушках, при резонансном импульсно-периодическом возбуждении / *Ю.П. Войнов, В.С. Горелик, А.Ю. Пятышев, М.Ф. Умаров* // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2012. – Т. 39, № 12. – С. 28-36.
6. Оптическая спектроскопия биоактивных препаратов: монография / *М.Ф. Умаров, В.С. Горелик.* – Вологда: ВоГУ, 2014. – 147 с.

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ

Аннотация. В статье рассматривается методика анализа спектров вторичного излучения фармацевтических препаратов с использованием малогабаритной системы регистрации. Представленный подход позволяет эффективно выявлять и характеризовать спектральные особенности лекарственных средств, что способствует контролю качества и исследованию их состава. Особое внимание уделено преимуществам компактного оборудования, обеспечивающего высокую точность и оперативность измерений в лабораторных и производственных условиях. Результаты исследования демонстрируют перспективность применения малогабаритных систем для анализа вторичного излучения в фармацевтической отрасли. В статье также подробно описываются технические характеристики используемой малогабаритной системы регистрации, включая ее чувствительность, диапазон

рабочих длин волн и возможности интеграции с существующими аналитическими платформами. Кроме того, рассмотрены примеры практического применения данной методики на различных типах фармацевтических препаратов, включая твердые, жидкие и полимерные формы, что подтверждает универсальность и адаптивность предложенного подхода.

Ключевые слова: спектр, вторичное излучение, фармацевтические препараты, спектрометр, лазер, система регистрации, фотолюминесценция.

ТАҲЛИЛИ СПЕКТРҲОИ ДУЮМИНИИ АФКАНИШОТИ ДОРУВОРӢ ДАР АСОСИ ИСТИФОДАИ СИСТЕМАИ ҚАЙДКУНИИ ХУРД

Ғишурда. Дар ин мақола усули таҳлили спектрҳои афканишоти дуумдараҷаи доруворӣ бо истифода аз системаи қайдкунии хурд баррасӣ мешавад. Усули пешниҳодшуда имкон медиҳад, ки хусусиятҳои спектрии доруҳо самаранок муайян ва тавсиф карда шаванд, ки назорати сифат ва таҳлили таркибро осон мекунад. Тавачҷӯҳи махсус ба бартарихҳои таҷҳизоти компактӣ, ки дақиқӣ ва самаранокии баланди андозагириро дар шароити лабораторӣ ва истеҳсоли таъмин мекунад, равона карда шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқот имкониятҳои истифодаи системаҳои компактӣ барои таҳлили афканишоти дуумдараҷа дар саноати дорусозӣ нишон медиҳанд. Дар мақола инчунин хусусиятҳои техникаи системаи ошкоркунии компактӣ, аз ҷумла ҳассосият, диапазони мавҷи қорӣ ва имконоти ҳамгирӣ бо платформаҳои мавҷудаи таҳлилӣ муфассал тавсиф шудаанд. Ғайр аз ин, мисолҳои татбиқи амалии ин усул барои намудҳои гуногуни доруворӣ, аз ҷумла шаклҳои сахт, моеъ ва полимерӣ, баррасӣ шудаанд, ки гуногунҷабҳа ва мутобиқшавии усули пешниҳодшударо тасдиқ мекунад.

Калидвожаҳо: спектр, радиатсияи дуумдараҷа, доруворӣ, спектрометр, лазер, системаи қайдкунии фотолюминесценсия.

ANALYSIS OF SECONDARY EMISSION SPECTRA OF PHARMACEUTICALS USING A SMALL-SIZE DETECTION SYSTEM

Annotation. This article discusses a method for analyzing secondary emission spectra of pharmaceuticals using a compact detection system. The presented approach enables the efficient identification and characterization of spectral features of drugs, facilitating quality control and compositional analysis. Particular attention is paid to the advantages of compact equipment, which ensures high accuracy and efficiency of measurements in laboratory and production settings. The results of the study demonstrate the potential of using compact systems for secondary emission analysis in the pharmaceutical industry. The article also describes in detail the technical characteristics of the compact detection system used, including its sensitivity, operating wavelength range, and integration capabilities with existing analytical platforms. Furthermore, examples of practical application of this technique to various

types of pharmaceuticals, including solid, liquid, and polymer forms, are discussed, confirming the versatility and adaptability of the proposed approach.

Keywords: spectrum, secondary radiation, pharmaceuticals, spectrometer, laser, detection system, photoluminescence.

Маълумот дар бораи муаллифон: *Маҳмудзода Азиза Маннон* - докторанти PhD кафедраи физикаи умумӣ ва ҷисмҳои сахти МДТ “Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Б.Ғафуров”. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, 735700, ш. Хуҷанд, хиёбони Мавлонбеков, 1.

Умаров Мақсудҷон Ғайзулоевич – доктори илмҳои физика ва математика, профессор, узви вобастаи АИТР, профессори кафедраи физикаи умумӣ ва ҷисмҳои сахти МДТ “Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Б.Ғафуров”. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, 735700, ш. Хуҷанд, хиёбони Мавлонбеков, 1. **E-mail:** umma54@rambler.ru.

Сведения об авторах: *Маҳмудзода Азиза Маннон* – докторант PhD кафедры общей физики и твёрдого тела ГОУ “Худжандского государственного университета имени академика Б. Гафурова”. **Адрес:** Республика Таджикистан, 735700, г. Худжанд, пр. Мавлонбекова, 1.

Умаров Мақсудҷон Ғайзулоевич – доктор физико-математических наук, профессор, член-корр. РАН, профессор кафедры общей физики и твёрдого тела ГОУ “Худжандского государственного университета имени академика Б.Гафурова”. **Адрес:** Республика Таджикистан, 735700, г. Худжанд, пр. Мавлонбекова, 1. **E-mail:** umma54@rambler.ru.

Information about the authors: *Makhmudzoda Aziza Mannon* - PhD student at the Department of General Physics and Solids of the Khujand State University named after Academician B. Gafurov. **Address:** Republic of Tajikistan, 735700, Khujand, Mavlonbekov Ave., 1.

Umarov Maksujon Fayzuloevich – Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of the RAE, Professor of the Department of General Physics and Solid State State Educational Institution “Khujand State University named after Academician B. Gafurov”. **Address:** Republic of Tajikistan, 735700, Khujand, Mavlonbekov ave., 1. **E-mail:** umma54@rambler.ru.

Мақола ба редакция ворид шуд: 07.01.2026

Аз тақриз баргашт: 10.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 03.03.2026

УДК 536.6: 669.715

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА AlTi_{0.1}, ЛЕГИРОВАННОГО ПРАЗЕОДИМОМ

Зокирзода Ф.Ш. (Зокиров Ф.Ш.), Ганиев И.Н., *Амиров А.Дж.
Таджикский технический университет им. М.С. Осими,
*Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистан

Введение

Быстрое развитие технологий передачи электроэнергии привело к росту спроса на эффективные воздушные проводники [1, с.484]. По мере роста мирового потребления энергии потребность в надежных и экономически эффективных материалах для распределения электроэнергии стала первостепенной [2, с.483]. Развитие проводников, используемых в распределительных и передающих линиях, происходило параллельно с достижениями в электротехнике и управлении энергией. Исторически основным материалом для воздушных проводников была медь; однако она имеет существенные недостатки, такие как низкое соотношение прочности к весу, высокая стоимость и значительный вес, что приводит к уменьшению длины пролетов и большей зависимости от транспортного и ремонтного оборудования [3, с.1488].

Алюминий является наиболее широко используемым материалом для линий передачи и распределения электроэнергии, поскольку его превосходное соотношение проводимости к весу позволяет коммунальным предприятиям прокладывать больше провода с меньшим количеством опорных конструкций. Все алюминиевые провода (ААС) представляют собой очищенные алюминиевые многожильные провода с минимальной чистотой металла 99,7%, которые в основном используются для воздушных линий передачи и распределения, где расстояние между проводами небольшое, а опоры расположены близко. Все проводники из алюминиевого сплава (АААС) используются в качестве неизолированного кабеля на воздушных линиях, где требуется большая механическая прочность, чем у ААС [4, с.14847].

Электропроводность и механическая прочность являются важнейшими свойствами проводниковых материалов, которые напрямую связаны с потерями энергии и безопасностью. Общие инженерные усилия направлены на улучшение механических характеристик путем легирования и термомеханической обработки, которая увеличивает плотность центров распределения электронов. Это вызывает рассеяние энергии и снижение проводимости, определяемой скоростью движения свободных электронов без возмущения. Следовательно, проектирование проводниковых материалов с одновременно низким сопротивлением и высокой прочностью является

нетривиальной задачей. Компромисс между прочностью и электропроводностью является в настоящее время барьером знаний, и это, по сути, верно для всех металлических проводников, включая алюминий [5, с.1207].

Чтобы преодолеть высокую стоимость редкоземельных элементов, исследуется альтернативный способ легирования алюминия для электротехники путем добавления эвтектикообразующих элементов с низкой растворимостью в алюминии в твердом состоянии. В большинстве исследований для этой цели используются различные содержания переходных металлов, в основном Zr, Cr, Mn, Ni, Fe, Ti и Ag [6, с.14868].

Легирующие элементы в виде микроэлементов, таких как Cr, V, Mn и Ti, в твердом растворе значительно увеличивают удельное сопротивление алюминия, что свидетельствует о том, что микроэлементы существенно снижают теплопроводность алюминия [7, с.3; 8, с.2].

Электропроводность чистого алюминия и алюминиевых сплавов можно улучшить различными методами, например, путем снижения содержания примесей путем добавления лигатур и редкоземельных элементов. Исследования, посвященные изучению влияния редкоземельных элементов, на электропроводность, показали, что электропроводность алюминия может быть повышена благодаря их способности удалять примеси из алюминия [9, с.600]. С другой стороны, соответствующие исследования показали, что высокое содержание редкоземельных элементов может привести к снижению электропроводности технически чистого алюминия [10, с.696; 11, с.433]. Хотя эти исследования показали, что добавление редкоземельных элементов может улучшить электропроводность, важно отметить, что использование редкоземельных элементов является дорогостоящим процессом.

Понимание и освоение физических и химических свойств сплавов является основой для использования легированных материалов, а хорошие физические и химические свойства зависят от теплофизических параметров и характеристик микроструктуры кристаллизации сплава. Удельная теплоемкость твердого состояния и коэффициент теплового расширения являются важными теплофизическими параметрами материалов. Удельная теплоемкость твердого состояния определяет возможности материала по поглощению, сохранению и выделению тепла, в то время как свойства теплового расширения напрямую определяют структурную стабильность материала, влияя на состояние распределения напряжений материала и стойкость к тепловому удару [12, с.2]. Кроме того, характеристики микроструктуры кристаллизации напрямую связаны с механическими свойствами материала, а микроструктура кристаллизации сильно зависит от условий кристаллизации (таких как переохлаждение и скорость охлаждения). В условиях быстрой кристаллизации порядок зародышеобразования, режим роста, микроструктура и распределение растворенного вещества каждой фазы в сплаве будут демонстрировать новые

законы. Следовательно, изучение теплофизических свойств и структуры затвердевания сплавов имеет важное практическое значение [12, с.2].

Целью работы является изучение температурной зависимости удельной теплоемкости и термодинамических функций проводникового сплава AlTi0.1, легированного празеодимом.

Схема установки и методика измерения теплоёмкости твёрдых тел

Практическое значение исследований теплоёмкости важно для расчётов энергетических балансов процессов в химических реакторах и других аппаратах химического производства, а также для выбора оптимальных теплоносителей. Экспериментальное измерение теплоёмкости для разных интервалов температур - от предельно низких до высоких - является основным методом определения термодинамических свойств веществ.

Нами исследование теплоёмкости металлов проводилось на установке, схема которой представлена на рис. 1, описанной в работах [13, с.867].

Одним из методов, позволяющий корректно установить температурную зависимость теплоёмкости металлов и сплавов в области высоких температур является метод сравнения скоростей охлаждения двух образцов, исследуемого и эталонного, по закону охлаждения Ньютона – Рихмана.

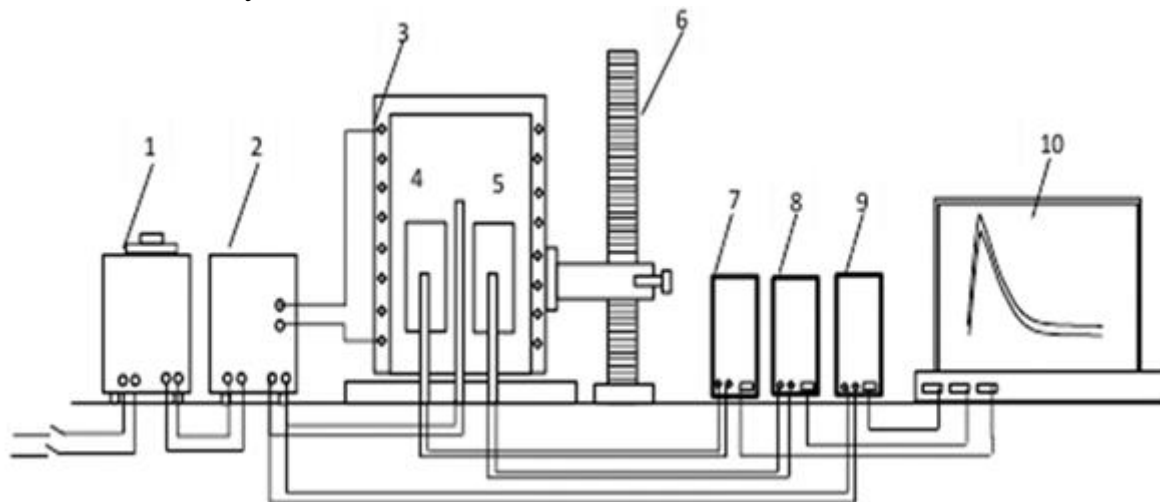


Рис.1. Схема установки для определения теплоёмкости твёрдых тел в режиме «охлаждения».

Как известно [14, с.11; 15, с.46; 16, с.126], теплоемкость твердых тел в режиме «охлаждения» определяется по уравнению

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (1)$$

где $m_1 = \rho_1 V_1$ – масса эталона, $m_2 = \rho_2 V_2$ – масса исследуемого образца; $(dT/d\tau)_1$, $(dT/d\tau)_2$ – скорости охлаждения образцов из эталона и

исследуемых сплавов при данной температуре. Для определения скорости охлаждения строят кривые охлаждения образцов.

Теплоёмкость проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом измеряли в режиме «охлаждения» по методикам, описанным в работах [17, с.892; 18, с.30]. Обработка результатов измерений и построение графиков производилось с помощью программ MS Excel и Sigma Plot. Значения коэффициента корреляции составлял величину $R_{\text{корр.}} > 0.998$, подтверждая правильность выбора аппроксимирующей функции. Относительная ошибка измерения теплоёмкости в интервале от 40⁰С до 400⁰С составляла $\pm 1\%$, а в интервале более 400⁰С $\pm 2.5\%$ [19, с.81; 20, с.170]. Погрешность измерения теплоёмкости по предлагаемой методике в нашем случае составил 1.2%.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Сплавы для исследования синтезировались в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ (сопротивление шахтное опытное лабораторное) в интервале температур 800–850⁰С из алюминия марки А5 (ГОСТ 110669-01), титана марки ТГ-90 (ГОСТ 19807-91) в виде лигатуры (Al+2 мас.% Ti) с алюминием и празеодима металлического марки – ПрМ1 (ТУ 48 – 4 – 215 – 72) в виде лигатуры (Al+10.0 мас. % Pr). Лигатура алюминия с 2 мас.% титана предварительно изготавливалась в вакуумной печи сопротивления типа СНВ 2.4.2/16. Из полученных далее в шахтной печи сопротивления СШОЛ сплавов в графитовую изложницу отливались цилиндрические образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм.

Результаты исследования температуры охлаждения изучаемых сплавов представлены на рис. 2. В общем случае полученные графики температуры (Т) от времени охлаждения (τ) для образцов из проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом показывают непрерывное уменьшение температуры образцов и эталона по мере их охлаждения. На кривых охлаждения термических эффектов, связанных с фазовым превращением или переходом, не обнаружено.

Полученные кривые охлаждения образцов из сплавов описываются уравнением вида

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (2)$$

где a, b, p, k – постоянные для данного образца, τ – время охлаждения.

Дифференцируя уравнение (2) по τ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов

$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \quad (3)$$

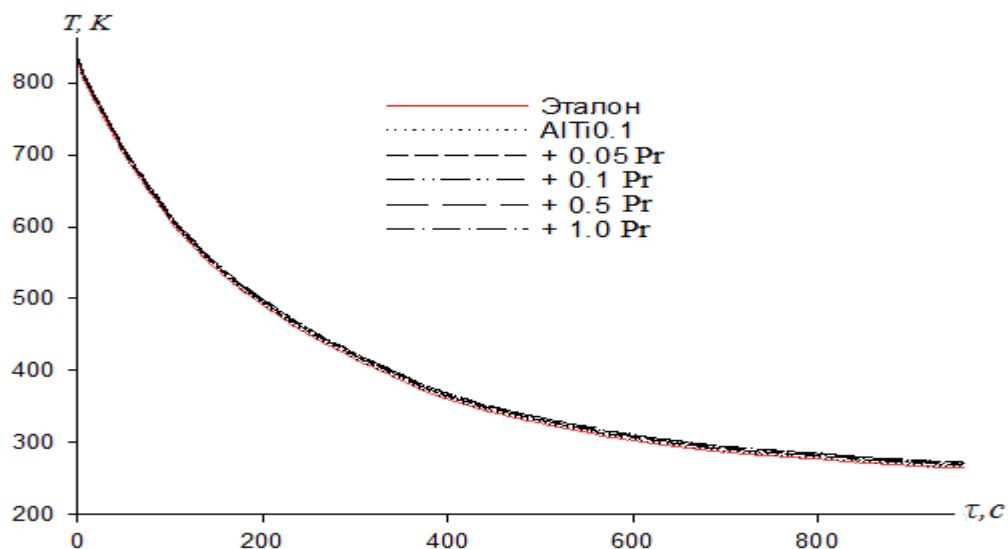


Рис. 2. График изменения температуры от времени охлаждения для образцов из проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом, мас.%.: 0.05% (2); 0.1% (3); 0.5% (4); 1.0% (5) и эталона (Al A5N)

По формуле (3) вычислены скорости охлаждения образцов из проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом и эталона. Кривые скорости охлаждения образцов показаны на рис. 3. Путем обработки скоростей охлаждения образцов были получены значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в (3), которые приведены в табл. 1.

С использованием установленных скоростей охлаждения образцов по уравнению (1) вычислялось удельная теплоемкость проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом и эталона. Результаты измерения через 100 К представлены в табл. 2 и на рис. 4. Теплоемкость проводникового сплава AlTi0.1 с ростом температуры увеличивается, а от концентрации празеодима уменьшается. Полученные значения теплоёмкости для особо чистого алюминия (эталона) совпадают с приведёнными в справочнике [21, с.11] данными.

Таблица 1

Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в уравнении (2) для проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом и эталона (Al A5N)

Содержание празеодима в сплаве, мас.%	a , К	$b \cdot 10^{-3}$, c^{-1}	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, c^{-1}	$a \cdot b$, Kc^{-1}	$pk \cdot 10^{-2}$, $K \cdot c^{-1}$
0.0	495.45	4.94	321.62	2.24	2.45	7.20
0.05	495,473	4.94	322.20	2.23	2.45	7.20
0.1	495,015	4.94	323.80	2.24	2.45	7.27
0.5	495,314	4.94	325.78	2.22	2.45	7.22
1.0	495,333	4.94	326.46	2.21	2.45	7.21
Эталон	495.26	4.94	319.82	2.26	2.45	7.24

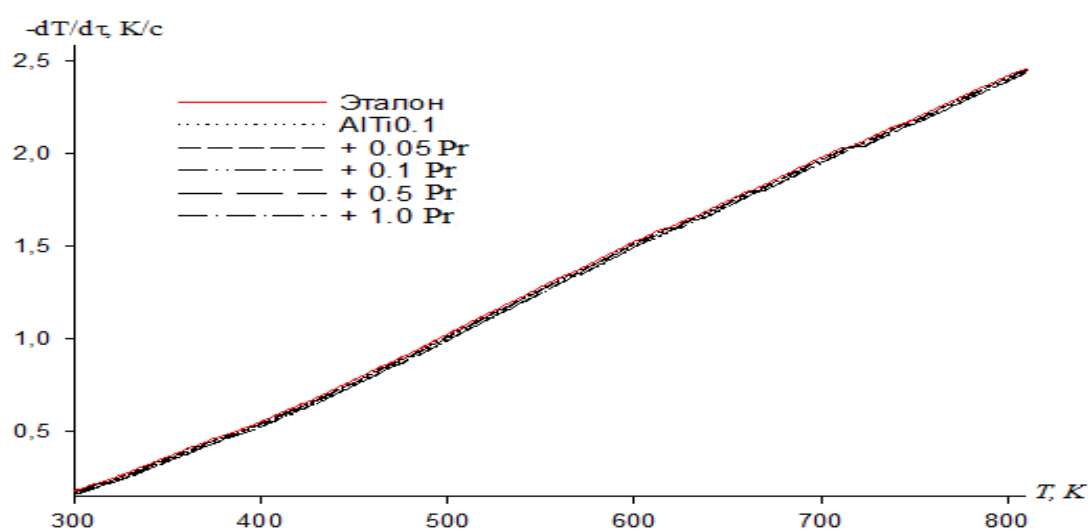


Рис. 3. График изменения скорости охлаждения от температуры для образцов из проводникового сплава AlTi0.1 (1) легированного празеодимом, мас. %: 0.05% (2): 0.1% (3): 0.5% (4): 1.0% (5) и эталона (Al A5N)

Таблица 2

Температурная зависимость удельной теплоёмкости (Дж/(кг·К)) проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом и эталона (Al A5N)

Содержание празеодима в сплаве, мас. %	Т.К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	903.33	949.02	991.11	1035.04	1086.25	1150.21
0.05	902,97	948,71	990,85	1034,83	1086,09	1150,09
0.1	902,61	948,34	990,47	1034,44	1085,69	1149,69
0.5	899,73	945,57	987,88	1032,13	1083,76	1148,26
1.0	896,13	941,98	984,38	1028,75	1080,55	1145,19
Эталон	903.70	949.58	991.97	1036.35	1088.21	1153.00

После проведения полиномиальной регрессии получено следующее общее уравнение описывающее температурную зависимость удельной теплоемкости алюминиевого сплава AlTi0.1 легированного празеодимом

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (4)$$

Значения коэффициентов a , b , c , d в уравнении (4) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов a , b , c , d в уравнении (4) для проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом и эталона (Al A5N)

Содержание празеодима в сплаве, мас.%	a , Дж/(кг·К)	b , Дж/(кг·К ²)	$c \cdot 10^{-4}$, Дж/(кг·К ³)	$d \cdot 10^{-7}$, Дж/(кг·К ⁴)	Коэффициент корреляции R ²
0.0	690.11	1.010	-12.7	9.08	0.999
0.05	689.60	1.010	-12.7	9.08	0.998
0.1	689.27	1.010	-12.7	9.08	0.998
0.5	686.31	1.010	-12.7	9.11	0.998
1.0	683.48	1.005	-12.6	9.06	0.998
Эталон	690.35	1.010	-12.7	9.13	1.000

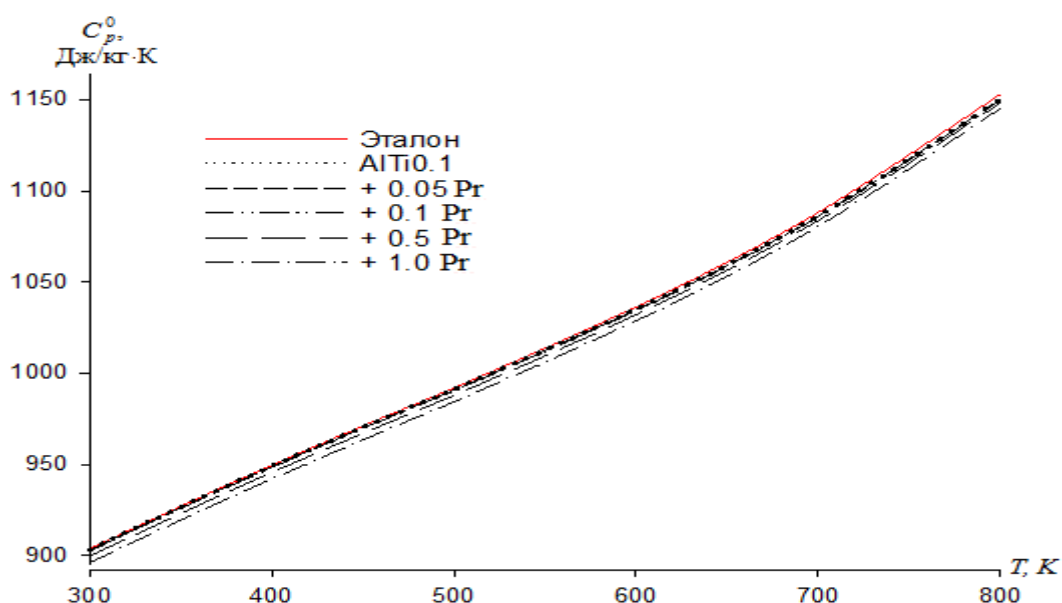


Рис. 4. Температурная зависимость теплоемкости проводникового сплава AlTi0. (1) легированного празеодимом, мас.‰: 0.05% (2); 0.1% (3); 0.5% (4); 1.0% (5) и эталона (Al A5N)

При расчетах температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (5)-(7) использовали уравнение (4):

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4), \quad (5)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3), \quad (6)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)] \quad (7)$$

где $T_0 = 298.15$ К.

Результаты расчета температурных зависимостей изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (5)-(7) для проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом представлены в табл. 4-6.

Результаты расчета температурных зависимостей изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (5)-(7) для проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом представлены в табл. 4-6.

Таблица 4

Температурная зависимость изменений энтальпии для проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом и эталона (Al A5N)

Содержание празеодима в сплаве, мас.%	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
	Т.К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	1.6703	94.3405	191.3547	292.6241	398.6054	510.2997
0.05	1,6696	94,3064	191,2920	292,5380	398,5008	510,1816
0.1	1,6689	94,2693	191,2174	292,4249	398,3482	509,9885
0.5	1,6636	93,9811	190,6609	291,6228	397,3330	508,8044
1.0	1,6570	93,6141	189,9382	290,5557	395,9362	507,0933
Эталон	1.6709	94.3869	191.4710	292.8481	398.9913	510.9213

Таблица 5

Температурная зависимость изменений энтропии для проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом и эталона (Al A5N)

Содержание празеодима в сплаве, мас.%	$[S^0(T) - S^0(T_0)]$, кДж/(кг · К) для сплавов					
	Т.К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	0.0056	0.2719	0.4881	0.6726	0.8359	0.9850
0.05	0,005583	0,2718	0,4880	0,6725	0,8357	0,9846
0.1	0,005580	0,2717	0,4878	0,6722	0,8354	0,9844
0.5	0,005563	0,2708	0,4864	0,6703	0,8332	0,9819
1.0	0,005540	0,2698	0,4845	0,6679	0,8302	0,9785
Эталон	0.0056	0.2719	0.4884	0.6731	0.8367	0.9860

Таблица 6

Температурная зависимость изменений энергии Гиббса для проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом и эталона (Al A5N)

Содержание празеодима в сплаве, мас.%	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
	Т.К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	-0.0052	-14.406	-52.732	-110.988	-186.565	-277.708
0.05	-0,0052	-14,400	-52,713	-110,951	-186,505	-277,624
0.1	-0,0052	-14,395	-52,692	-110,908	-186,433	-277,517
0.5	-0,0051	-14,350	-52,533	-110,582	-185,901	-276,752
1.0	-0,0051	-14,293	-52,329	-110,160	-185,205	-275,735
Эталон	-0.0052	-14.412	-52.759	-111.054	-186.690	-277.922

Выводы

Исследование температурной зависимости теплоемкости проводникового сплава AlTi0.1, легированного празеодимом, в режиме «охлаждения» показало, что с повышением температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов возрастают, а с увеличением концентрации празеодима в сплаве они уменьшаются. Энергия Гиббса уменьшается с повышением температуры и увеличивается с увеличением концентрации празеодима.

Литература

1. ASM handbook volume 2: properties and selection: nonferrous alloys and specialpurpose materials, Materials Park, ASM International. –1990. Vol. 1722. –P. 484-666.
2. Frank W.B., Haupin W.E., Vogt H., Bruno M., Thonstad J., Dawless R., Kvande H., Taiwo O.A., Aluminum, in: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH-Verl, Weinheim. –2012. –P. 483-487.
3. Zhang J., Peng J. A review on aluminum alloy conductors influenced by alloying elements and thermomechanical treatments: microstructure and properties. J. Mater. Res. –2023. –Vol. 38 (6). –P. 1488-1509.
4. Frank Czerwinski. Aluminum alloys for electrical engineering: a review // J Mater Sci. –2024. –Vol. 59. –P. 14847–14892. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-09890-0>
5. Ke X, Ye J, Pan Z, j. Geng, M. Besser, D. Qu and A. Caro, Ideal maximum strengths and defect-induced softening in nanocrystalline-nanotwinned metals. Nat Mater. – 2019. –Vol. 18. –P. 1207-1214.
6. Frank C. Aluminum alloys for electrical engineering: a review // J. Mater Sci. –2024. –Vol. 59. –P. 14847-14892. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-09890-0>
7. Ailing Zhang, Yanxiang Li. Thermal Conductivity of Aluminum Alloys-A Review // Materials. –2023, –Vol. 16. –P. 2-21. <https://doi.org/10.3390/ma16082972>
8. Zhang A.L., Li, Y.X. Effect of Alloying Elements on Thermal Conductivity of Aluminum. // J. Mater. Res. –2023. –P. 1-10.
9. Lin G., Li L., Guo Z., Jia X., Wang X., Yuan Z., Zhang G., Zhan Y., Shan Q., Li Z. Influence of cerium and yttrium addition on strength and electrical conductivity of pure aluminum alloys. J. Rare Earth. – 2024. –Vol. 42. –P. 600-611.
10. Medvedev A.E., Murashkin M.Y., Enikeev N.A., Valiev R.Z., Hodgson P.D., Lapovok R. Enhancement of mechanical and electrical properties of Al-RE alloys by optimizing rare-earth concentration and thermo-mechanical treatment. J. Alloys Compd. –2018. –Vol. 745. –P. 696-704.
11. Murashkin M.Y., Sabirov I.; Medvedev A.E., Enikeev N.A., Lefebvre W., Valiev R.Z., Sauvage X. Mechanical and electrical properties of an ultrafine

- grained Al–8.5wt. % RE (RE=5.4wt.% Ce, 3.1wt.% La) alloy processed by severe plastic deformation. Mater. Des. –2016. –Vol. 90. –P. 433-442.
12. Wang Xiaojuan, Ruan Ying, Hong Zhenyu. Thermophysical properties and rapid solidification characteristics of Al-Cu-Ge alloys // Acta Physica Sinica. –2014. –Vol. 63. –No.9. –P. 1-8. <https://doi.org/10.7498/aps.63.098101>
 13. Ganiev I.N., Zokirov F.Sh., Sangov M.M., Ibrokhimov N.F. Effect of Calcium on the Temperature Dependence of the Heat Capacity and Thermodynamic Function Variability of the AK12M2 Alloy // High Temperature. –2018. –Vol. 56. –No.6. –P. 867-872. <https://doi.org/10.1134/S0018151X18060093>
 14. Киров С.А., Козлов А.В, Салецкий А.М., Харабадзе Д.Э. Измерение теплоемкости и теплоты плавления методом охлаждения / –М.:ООП. Физ. фак-т МГУ. –2012. –23 с.
 15. Булкин П.С., Попова И.И. Общий физический практикум: молекулярная физика: учеб. пособ. / –М.: Изд-во Московского университета. –1988. –215 с.
 16. Сивухин Д.В. Общий курс физики: в 5 т. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика / –М.: Физматлит. –2006. –544 с
 17. Зокиров Ф.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Иброхимов Н.Ф. Влияние кальция на температурную зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АК12М2// Теплофизика высоких температур. –2018. –Т.56. –№6. –С. 891-896. <https://doi.org/10.31857/S004036440003566-6>
 18. Ганиев И.Н., Зокиров Ф.Ш., Рахматуллоева Г.М., Ходжаназаров Х.М. Влияние лития, натрия и калия на температурную зависимость теплофизических свойств и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение –2025. –Т.27. –№2. –С. 30-41. <https://doi.org/10.15593/2224-9877/2025.2.04>
 19. Геращенко Ю.А., Гордов А.Н., Еремина А. К. и др. Температурные измерения / –Справочник. Киев: Наукова думка. –1989. –704 с.
 20. Гортышов Ю.Ф., Дресвянников Ф.Н., Иднатулин Н.С. Теория и техника теплофизического эксперимента / –М.: Энергоатомиздат. –1985. –360 с.
 21. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах / Справ. изд. –М.: Металлургия. –1984. –384 с.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА AlTi0.1, ЛЕГИРОВАННОГО ПРАЗЕОДИМОМ

Аннотация. В данной статье представлен всесторонний анализ теплофизических свойств и термодинамических функций проводникового сплава AlTi0.1 легированного празеодимом. В режиме «охлаждения» изучалась

температурная зависимость теплоемкости, коэффициента теплопередачи и изменений термодинамических функций (энтальпии, энтропии и свободной энергии Гиббса) легированного празеодимом проводникового сплава AlTi0.1. Результаты показали, что в температурном диапазоне 300–800 К теплоемкость проводникового сплава AlTi0.1, легированного празеодимом в количестве 0,05–1,0 мас.%, возрастает. С увеличением содержания празеодима теплоемкость, энтальпия и энтропия исходного сплава уменьшаются. Энергия Гиббса уменьшается с повышением температуры и увеличивается с увеличением содержания празеодима.

Ключевые слова: проводниковый сплав AlTi0.1, празеодим, теплоемкость, режим охлаждения, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса.

ХОСИЯТҶОИ ТЕПЛОФИЗИКӢ ВА ФУНКСИЯҶОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ХӢЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИЙИ AlTi0.1 БО ПРАЗЕОДИМ ЧАВҲАРОНИДАШУДА

Фиишурда. Дар ин мақола таҳлили ҳамаҷонибаи хосиятҳои теплофизикӣ ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқилии AlTi0.1 бо празеодим чавҳаронидашуда пешниҳод шудааст. Вобастагии ҳарорат аз гармиғунҷоиш, коэффитсиенти интиқоли гармӣ ва тағйирот дар функсияҳои термодинамикӣ (энтальпия, энтропия ва энергияи озоди Гиббс)-и хӯлаи ноқилии AlTi0.1 бо празеодим чавҳаронидашуда дар ҳолати «сардшавӣ» омӯхта шуд. Натиҷаҳо нишон доданд, ки дар ҳудудҳои ҳарорати 300–800 К, гармиғунҷоиши хӯлаи ноқилии AlTi0.1 бо празеодим ба миқдори 0.05-1.0% масса чавҳаронидашуда, меафзояд. Бо афзоиши миқдори празеодим, гармиғунҷоиш, энтальпия ва энтропияи хӯлаи аслӣ коҳиш меёбад. Энергияи Гиббс бо афзоиши ҳарорат кам мешавад ва бо афзоиши миқдори празеодим меафзояд.

Калимаҳои калидӣ: хӯлаи ноқилии AlTi0.1, празеодим, гармиғунҷоиш, ҳолати «сардшавӣ», энтальпия, энтропия, энергияи Гиббс.

THERMOPHYSICAL PROPERTIES AND THERMODYNAMIC FUNCTIONS OF ALUMINUM CONDUCTOR ALLOY AlTi0.1 ALLOYED

Abstract. This article presents a comprehensive analysis of the thermophysical properties and thermodynamic functions of the conductive alloy AlTi0.1 alloy doped with praseodymium. The temperature dependence of the heat capacity, heat transfer coefficient, and changes in the thermodynamic functions (enthalpy, entropy, and Gibbs free energy) of praseodymium-doped AlTi0.1 conductive alloy was studied in the "cooling" mode. The results showed that in the temperature range of 300–800 K, the heat capacity of the AlTi0.1 conductive alloy, alloyed with 0.05–1.0 wt.% praseodymium, increases. With increasing praseodymium content, the heat capacity, enthalpy, and entropy of the original alloy decrease. The Gibbs free energy decreases with increasing temperature and increases with increasing praseodymium content.

Key words: AlTi0.1 conductive alloy, praseodymium, heat capacity, cooling mode, enthalpy, entropy, Gibbs free energy.

Сведения об авторах: Зокирзода Фурқатишоҳ Шаҳриер – к.т.н., доцент кафедры физики Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. Адрес: Республика Таджикистан, г. Душанбе, 734042, проспект академиков Раджабовых, 10. E-mail: Zokirov090514@mail.ru.

Ганиев Изатулло Наврузович – академик НАНТ, д.х.н., профессор кафедры «Технология химических производств», Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. Адрес: Республика Таджикистан, 734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10, E-mail: ganievizatullo48@gmail.com.

Амиров Абдухолик Джамиедович – младший научный сотрудник ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитин, НАН Таджикистана». Адрес: Республика Таджикистан 734063, г. Душанбе, проспект Айни 299/2, E-mail: abduholiq.j@mail.ru.

Маълумот оиди муаллифон: Зокирзода Фурқатишоҳ Шаҳриер – н.и.т., дотсенти кафедраи физикаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, 734042, хиёбони Академик Рачабов, 10, E-mail: Zokirov090514@mail.ru.

Ганиев Изатулло Наврузович – академики АМИТ, д.и.х., профессораи кафедраи технологияи истеҳсоли химиявии ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734042, Душанбе, хиёбони академикҳо Рачабов, 10, E-mail: ganievizatullo48@gmail.com.

Амиров Абдухолик Чамиедович – ходими хурди илмии МДИ «Институти химияи ба номи В.И. Никитин, АМИ Тоҷикистон». Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734063, Душанбе, хиёбони Айни 299/2, E-mail: abduholiq.j@mail.ru.

About the authors: Zokirzoda Furkatshoh Shahrier – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. Address: The Republic of Tajikistan, Dushanbe, 734042, Academician Radjabov Avenue, 10. E-mail: Zokirov090514@mail.ru.

Ganiev Izatullo Navruzovich – Academician of the National Academy of Sciences of the Russian Federation, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemical Production Technology, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. Address: Republic of Tajikistan, 734042, Dushanbe, Academician Radjabov Avenue, 10. E-mail: ganievizatullo48@gmail.com.

Amirov Abduholik Dzhamshedovich – Junior Researcher, SSI “V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan”. Address: Republic of Tajikistan 734063, Dushanbe, Ayni Avenue 299/2, E-mail: abduholiq.j@mail.ru.

Мақола ба редакция ворид шуд: 08.01.2026

Аз тақриз баргашт: 10.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 03.03.2026

УДК 535.36 : 53.09

**ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВЕРХНЕЙ
ТРОПОСФЕРЫ И НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЫ В Г. ДУШАНБЕ В ИЮЛЕ
2021 ГОДА**

**Абдуллозода С.Ф., ¹Абдуджамилзода М.А., Маслов В.А.
Физико-технический институт им. С.У. Умарова Национальной
академии наук Таджикистана**

**¹Политехнический Институт Таджикского технического Университета
имени академика М.С. Осими в городе Худжанд**

Атмосферный аэрозоль и пылевые частицы в атмосфере образующие при пылевых бурях и пылевой мглы являются дисперсными средами- объектами физики конденсированного состояния. Цель настоящей статьи исследование особенности изменения вертикального профиля температуры при вторжения пылевых бурь на примере июля 2021года в атмосфере г.Душанбе.

Июль 2021 года над территорией г. Душанбе характеризовался выраженной внутримесячной изменчивостью термодинамического состояния атмосферы, обусловленной как сезонными радиационными факторами, так и эпизодическими аэрозольными воздействиями. В течение месяца неоднократно фиксировались пылевые явления различной интенсивности, включая пыльные бури)10 и 27 июля(и пыльную мглу)14-16 июля(, чередующиеся с периодами сравнительно чистой атмосферы)8 и 23 июля(.

Анализ выполнен на основе данных реанализа GDAS1, которые широко применяются для изучения «вертикальной структуры атмосферы и динамики тропопаузы»]1, с.21; 2, с.14; 3, с.438[. Рассмотрены два высотных уровня — около 10,8 км, соответствующий верхней тропосфере, и около 16,7 км, относящийся к нижней стратосфере. Эти уровни являются ключевыми для исследования радиационно-динамического отклика атмосферы на аэрозольное загрязнение

Дополнительно для характеристики аэрозольной нагрузки использованы суточные значения аэрозольной оптической толщины)AOD(на длинах волн 340, 380 и 500 нм, отражающие интенсивность и спектральные особенности аэрозольного слоя в течение месяца)рис 1(.

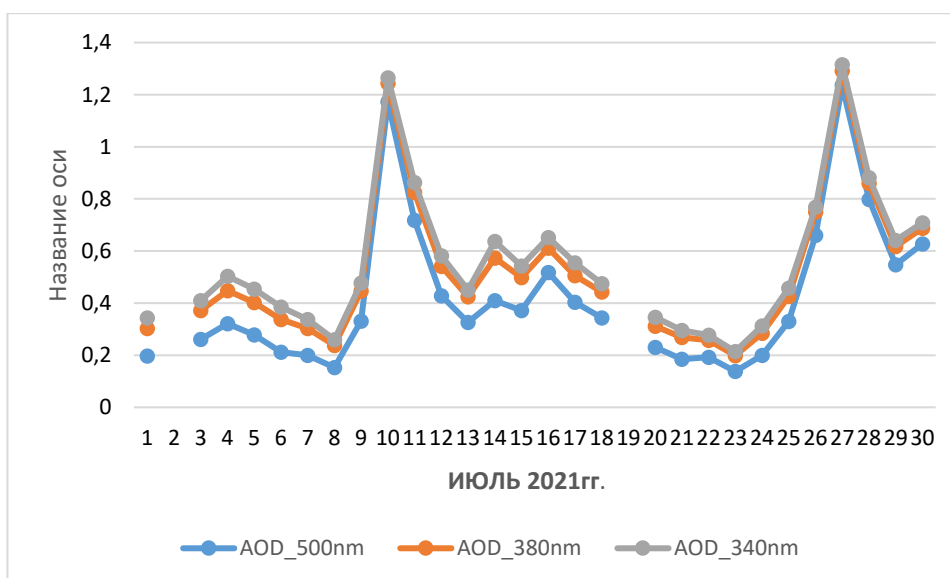


Рис. 1. Средние значения вариации общей АОТ – $\tau(\lambda)$ АОТ субмикронной $\tau(\lambda^c$ и крупнодисперсной фракции $\tau(\lambda^f$ аэрозоля в атмосфере г. Душанбе

Температурный режим верхней тропосферы)Н ≈ 10,8 км(

Среднемесячная температура воздуха в верхней тропосфере в июле 2021 года составила $-37,78$ °С, что соответствует типичным «летним условиям для данного региона Средней Азии» [4, с.63]. В течение месяца температура изменялась в широком диапазоне от $-46,2$ °С до $-31,7$ °С, что указывает на высокую чувствительность этого слоя атмосферы к изменению радиационного баланса и вертикального теплообмена)рис.2(.

В периоды пыльных бурь)10 и 27 июля(в верхней тропосфере наблюдались выраженные температурные аномалии. 10 июля зафиксирована отрицательная аномалия $-3,42$ °С(, связанная с экранирующим эффектом плотного аэрозольного слоя. Напротив, 27 июля отмечалась слабopоложительная аномалия $+0,98$ °С(, что указывает на преобладание длинноволнового радиационного прогрева верхнетропосферного слоя в условиях развитого аэрозольного экрана)таб. 1(.

В период пыльной мглы)14–16 июля(температурные аномалии носили умеренно отрицательный характер)от $-0,72$ до $-1,62$ °С(, отражая промежуточную интенсивность аэрозольного воздействия: концентрация минерального аэрозоля была достаточной для частичного ослабления коротковолновой радиации, но недостаточной для «формирования выраженного радиационного прогрева верхних слоёв атмосферы» [5, с.86; 6, с.514; 7, с.3].

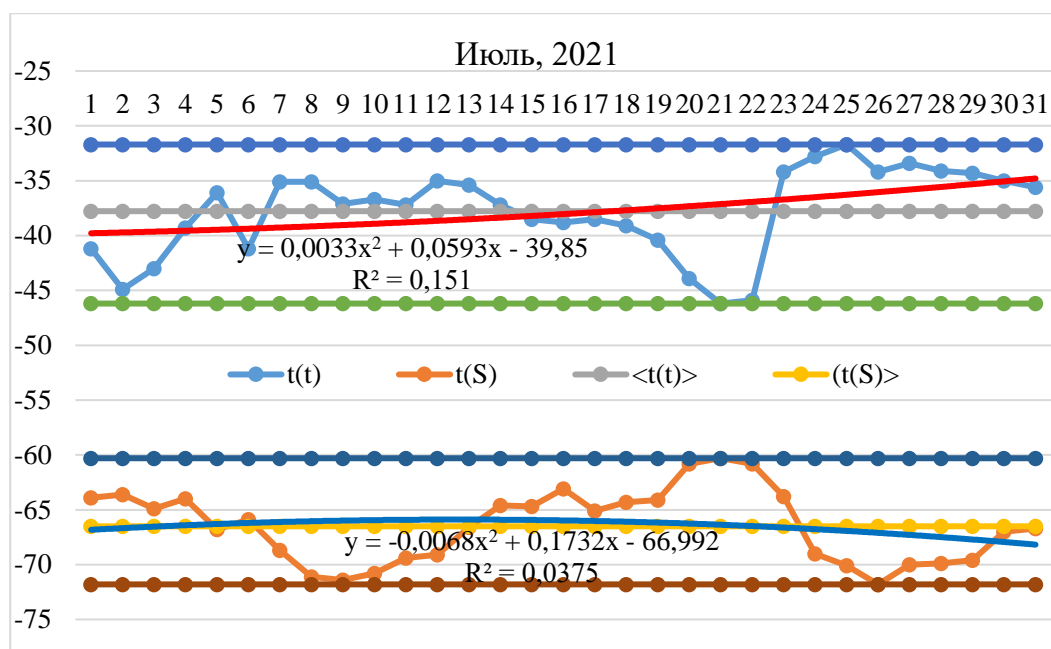


Рис.2. Вертикальный профиль температуры в атмосфере г. Душанбе в июле 2021г.

В дни с чистой атмосферой)8 и 23 июля(температурные аномалии имели разнонаправленный характер и определялись преимущественно динамическими процессами — «адвекцией воздушных масс и волновыми возмущениями вблизи тропопаузы» [1, с.22, 2, с.15[.

Таблица 1.

Температурные аномалии)ΔТ(в верхней тропосфере и нижней стратосфере над г. Душанбе в июле 2021 г.

Дата	Аэрозольное состояние атмосферы	Т)10,8 км(, °С	ΔТ)10,8 км(, °С	Т)16,8 км(, °С	ΔТ)16,8 км(, °С
08.07.2021	Чистая атмосфера	-35,1	+2,68	-60,8	+5,71
10.07.2021	Пыльная буря	-41,2	-3,42	-70,8	-4,29
14.07.2021	Пыльная мгла	-38,9	-1,12	-65,3	-1,21
15.07.2021	Пыльная мгла	-38,5	-0,72	-64,7	-1,69
16.07.2021	Пыльная мгла	-39,4	-1,62	-66,1	-0,41
23.07.2021	Чистая атмосфера	-46,2	-8,42	-60,3	+6,21
27.07.2021	Пыльная буря	-36,8	+0,98	-69,4	-2,89
28.07.2021	Пыльная буря	-34,1	+3,58	-69,9	-5,29

Полиномиальный тренд температуры воздуха на высоте 10,8 км описывается следующим уравнением:

$$T(x) = 0.0033x^2 + 0.0593x - 39.8499$$

$$R^2 = 0.151$$

Где x — номер дня месяца;

Физический смысл коэффициентов. Квадратичный коэффициент имеет положительный знак, что указывает на тенденцию усиления температурных

аномалий во второй половине месяца. Это отражает накопительный эффект аэрозольной нагрузки, связанный с повторяемостью пылевых мгле)2 и 24 июля(и пылевой бури)5 июля(, а также усиление длинноволнового радиационного прогрева слоя.

Линейный коэффициент характеризует слабый положительный внутри-месячный тренд, обусловленный сезонным прогревом верхней тропосферы в летний период.

Свободный коэффициент соответствует фоновой средней температуре верхней тропосферы над регионом в условиях отсутствия экстремальных аэрозольных воздействий.

Оценка качества аппроксимации) $R^2 = 0.151$ (. Коэффициент детерминации указывает на то, что около 15 % вариаций температуры объясняются полиномиальной моделью. Это свидетельствует о доминирующей роли кратковременных синоптических и аэрозольных процессов, не описываемых гладкой трендовой функцией, что характерно для верхней тропосферы в условиях горного рельефа.

Температурный режим нижней стратосферы) $H \approx 16,7$ км(

В нижней стратосфере среднемесячная температура в июле 2021 года составила $-66,51$ °С. В отличие от верхней тропосферы, данный слой атмосферы характеризовался противоположной реакцией на аэрозольные события. Минимальные значения температуры достигали $-71,8$ °С, максимальные — $-60,3$ °С.

В периоды пыльных бурь)10 и 27 июля(в нижней стратосфере фиксировались устойчивые отрицательные температурные аномалии)до $-4,29$ °С и $-2,89$ °С соответственно(, что обусловлено «экранирующим эффектом аэрозольного слоя, ослабляющего поступление коротковолновой солнечной радиации в стратосферу и усиливающего процессы радиационного выхолаживания»]8, с.425; 9, с.1718; 10, с.276[.

В условиях чистой атмосферы)23 июля(наблюдалась наиболее выраженная положительная аномалия температуры) $+6,21$ °С(, отражающая фоновое состояние нижней стратосферы при максимальной прозрачности атмосферы и эффективном «поглощении ультрафиолетового излучения озоном»]11, с.38; 12, с.14, 13, с.3; 14, с.7782; 15, с.4370[.

Для нижней стратосферы) $H \approx 16,8$ км(получено следующее уравнение полиномиального тренда:

$$T(x) = -0.0068x^2 + 0.1732x - 66.992$$
$$R^2 = 0.0357$$

Физический смысл коэффициентов. Отрицательный квадратичный коэффициент указывает на тенденцию охлаждения нижней стратосферы во второй половине месяца. Это связано с экранирующим эффектом аэрозольных частиц, которые ослабляют поток коротковолнового солнечного излучения,

поступающего в стратосферу. Положительный линейный коэффициент отражает медленную квазилинейную термическую эволюцию слоя, обусловленную сезонными процессами и вертикальным переносом энергии вблизи тропопаузы.

Свободный коэффициент соответствует средней фоновой температуре нижней стратосферы над г. Душанбе в летний период.

Оценка качества аппроксимации. Низкое значение коэффициента детерминации свидетельствует о том, что температурная изменчивость в нижней стратосфере в значительной степени определяется волновыми процессами, динамикой тропопаузы и кратковременными аэрозольными вторжениями, что не может быть полностью описано простой полиномиальной моделью.

Сравнительный анализ двух высот

Сопоставление полиномиальных трендов на высотах 10,8 и 16,8 км показывает разнонаправленный температурный отклик атмосферы на пылевые события. В верхней тропосфере аэрозольная нагрузка способствует формированию положительных температурных аномалий за счёт дополнительного длинноволнового радиационного прогрева, тогда как в нижней стратосфере преобладает эффект радиационного экранирования, приводящий к охлаждению слоя.

Полученные результаты согласуются с современными представлениями о вертикальном перераспределении радиационной энергии в условиях повышенной запылённости атмосферы и подтверждают сложный нелинейный характер термодинамических процессов в районе тропопаузы.

Заключение

Сопоставление температурных аномалий на высотах 10,8 и 16,8 км показывает разнонаправленный отклик атмосферы на пылевые события. В верхней тропосфере аэрозольная нагрузка способствует формированию положительных аномалий за счёт дополнительного длинноволнового радиационного прогрева, тогда как в нижней стратосфере преобладает эффект радиационного экранирования, приводящий к охлаждению слоя.

Основные выводы:

1. В июле 2021 г. температурный режим верхней тропосферы и нижней стратосферы над г. Душанбе характеризуется высокой суточной изменчивостью.

2. Пылевые бури приводят к формированию выраженных положительных аномалий температуры в верхней тропосфере.

3. Пылевая мгла сопровождается охлаждением верхних слоёв тропосферы и нижней стратосферы.

4. Полиномиальные тренды подтверждают нелинейный характер внутримесячных изменений температуры.

Таким образом, результаты анализа подтверждают, что аэрозольные явления являются одним из ключевых факторов формирования термического режима атмосферы над г. Душанбе в летний период и определяют нелинейный характер внутримесячной температурной изменчивости в районе тропопаузы.

Литература

1. *Wallace, J.M.* Atmospheric science: an introductory survey / *J.M. Wallace, P.V. Hobbs* // Academic Press. – 2nd ed. – 2006. – 504 p.
2. *Holton, J.R.* An introduction to dynamic meteorology / *J.R. Holton, G.J. Hakim* // Academic Press. – 5th ed. – 2013. – 552 p.
3. *Kalnay, E.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project / *E. Kalnay, et al.* // Bulletin of the American Meteorological Society. – 1996. – Vol. 77. – P. 437–471.
4. *Seinfeld, J.H.* Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change / *J.H. Seinfeld, S.N. Pandis* // Wiley. – 3rd ed. – 2016. – 1152 p.
5. *Liou, K.N.* An introduction to atmospheric radiation / *K.N. Liou* // Academic Press. – 2nd ed. – 2002. – 583 p.
6. *Haywood, J.* Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols / *J. Haywood, O. Boucher* // Reviews of Geophysics. – 2000. – Vol. 38. – P. 513–543.
7. IPCC. Climate change 2021: the physical science basis // Cambridge University Press. – 2021.
8. *Charlson, R.J.* Climate forcing by anthropogenic aerosols / *R.J. Charlson, et al.* // Science. – 1992. – Vol. 255. – P. 423–430.
9. *Textor, C.* Analysis and quantification of the diversities of aerosol life cycles within AeroCom / *C. Textor, et al.* // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2006. – Vol. 6. – P. 1777–1813.
10. *Kok, J.F.* Contribution of desert dust to the global radiation budget / *J.F. Kok, et al.* // Nature Geoscience. – 2017. – Vol. 10. – P. 274–278.
11. *Ramanathan, V.* Air pollution, greenhouse gases and climate change: global and regional perspectives / *V. Ramanathan, Y. Feng* // Atmospheric Environment. – 2009. – Vol. 43. – P. 37–50.
12. *Andreae, M.O.* Aerosol–cloud–precipitation interactions / *M.O. Andreae, D. Rosenfeld* // Earth-Science Reviews. – 2008. – Vol. 89. – P. 13–41.
13. WMO. Guide to meteorological instruments and methods of observation // WMO-No. 8. – Geneva. – 2018.
14. *Stohl, A.* Global atmospheric transport and deposition of desert dust / *A. Stohl, et al.* // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2011. – Vol. 11. – P. 7781–7810.

15. *Kaufman, Y.J.* The effect of smoke, dust, and pollution aerosol on shallow cloud development / *Y.J. Kaufman, et al.* // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2002. – Vol. 99. – P. 4369–4374.

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВЕРХНЕЙ ТРОПОСФЕРЫ И НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЫ В Г. ДУШАНБЕ В ИЮЛЕ 2021 ГОДА

Аннотация. Статья представляет количественный анализ вертикального распределения температуры в верхней тропосфере ($H \approx 10,8$ км) и нижней стратосфере ($H \approx 16,7$ км) над территорией г. Душанбе в июле 2021 года с учётом внутримесячной вариабельности аэрозольной нагрузки. Используются данные реанализа GDAS1 и суточные значения аэрозольной оптической толщины (AOD) на длинах волн 340, 380 и 500 нм. Показано, что температурные аномалии различаются по высотным уровням: верхняя тропосфера демонстрирует как положительные отклонения (длинноволновой радиационный прогрев), так и отрицательные (ослабление коротковолнового солнечного излучения), в то время как нижняя стратосфера в период пылевых событий преимущественно охлаждается. Полиномиальный анализ внутримесячных изменений температуры подтверждает нелинейную природу термодинамических процессов вблизи тропопаузы, обусловленных синоптическими, радиационными и аэрозольными воздействиями. Результаты подчеркивают ключевую роль аэрозольных процессов в формировании вертикальной структуры температуры атмосферы в регионе Центральной Азии.

Ключевые слова: верхняя тропосфера, нижняя стратосфера, вертикальный профиль температуры, температурные аномалии, аэрозольная оптическая толщина, пылевые бури, радиационные процессы, Душанбе.

ХУСУСИЯТИ ПАРАМЕТРҲОИ ҲАРОРАТИИ ВЕРТИКАЛӢ ДАР ТРОПОСФЕРАИ БОЛОӢ ВА СТРАТОСФЕРАИ ПОӢНӢ ДАР ШАҲРИ ДУШАНБЕ ДАР МОӢИ ИЮЛИ 2021

Ҷишурда. Дар мақола таҳлили микдории тағйирёбии ҳароратии тропосфераи болоӣ ($H \approx 10,8$ км) ва стратосфераи поёнӣ ($H \approx 16,7$ км) дар шаҳри Душанбе дар моҳи июли соли 2021 пешниҳод шудааст. Тадқиқот бо истифода аз маълумоти реанализи GDAS1 ва тағйирёбии ғафсии оптикии аэрозол (AOD) дар дарозии мавҷҳои 340, 380 ва 500 нм анҷом ёфтааст. Муайян карда шуд, ки аномалияҳои ҳароратӣ дар тропосфераи болоӣ ва стратосфераи поёнӣ ба таври гуногун тағйир меёбанд: дар тропосфераи болоӣ аномалияҳои мусбат (гармшавии радиатсионӣ) ва манфӣ (камшавии радиатсияи кӯтоҳмавҷ) ба вучуд меоянд, дар ҳоле ки дар стратосфераи поёнӣ бештар хунукшавӣ мушоҳида мешавад. Таҳлилҳои полиномии тағйирёбии ҳарорат нишон медиҳанд, ки динамикаи термодинамикии атмосфера дар минтақаи тропопауза ғайрихатӣ ва ба омилҳои аэрозолӣ, синоптикӣ ва радиатсионӣ хеле ҳассос аст.

Натиҷаҳо аҳамияти аэрозолҳоро дар танзими профили ҳароратӣ ва эволютсияи энергетикӣи вертикалӣ дар атмосфераи минтақаи Маркази Осиё тасдиқ мекунанд.

Калимаҳои калидӣ: тропосфераи болоӣ, стратосфераи поёнӣ, профили ҳароратӣ, аномалияҳои термодинамикӣ, ғафсии оптикӣи аэрозол, тӯфонҳои ғуборӣ, радиацияи атмосфера, Душанбе.

QUANTITATIVE ANALYSIS OF VERTICAL TEMPERATURE PROFILES IN THE UPPER TROPOSPHERE AND LOWER STRATOSPHERE OVER DUSHANBE IN JULY 2021

Annotation. This study presents a quantitative assessment of vertical temperature variations in the upper troposphere ($H \approx 10.8$ km) and lower stratosphere ($H \approx 16.7$ km) over Dushanbe during July 2021, considering intramonthly aerosol variability. The analysis is based on GDAS1 reanalysis data and daily aerosol optical depth (AOD) measurements at wavelengths of 340, 380, and 500 nm. Results indicate that temperature anomalies exhibit a height-dependent response: the upper troposphere shows both positive deviations due to longwave radiative warming and negative deviations due to shortwave radiation attenuation, whereas the lower stratosphere predominantly cools during dust events. Polynomial modeling of intramonthly temperature trends confirms the nonlinear nature of thermodynamic processes near the tropopause, driven by synoptic, radiative, and aerosol effects. These findings emphasize the significant role of aerosol loading in shaping the vertical temperature structure and radiative balance of the atmosphere over Central Asia.

Keywords: upper troposphere, lower stratosphere, vertical temperature profile, temperature anomalies, aerosol optical depth, dust storms, radiative processes, Dushanbe.

Информация об авторах: Абдуллозода Сабур Фузайл – д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией физики атмосферы Физико-технического института им. С. У. Умарова НАНТ. Тел.: (+992)918177390. E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com.

Абдуджамилзода Мафтуна Абдуджамил – ассистент кафедры высшей математики и физики, Политехнический Институт Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими в городе Худжанд. Тел.: (+992)928529600. E-mail: maftuna_02.96@mail.ru.

Маслов Владимир Анатольевич – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории физики атмосферы Физико-технического института имени С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан. Тел.: (+992) 917 251 032. E-mail: vamaslov@inbox.ru.

Маълумот дар бораи муаллифон: Абдучамилзода Мафтуна Абдучамил – ассистенти кафедраи математикаи олий ва физикаи Донишқадаи политехникии давлатии ДТТХ ба номи академик М. Осимӣ. Тел.: (+992) 928529600. E-mail: maftuna_02.96@mail.ru

Абдуллозода Сабур Фузайл – д.и.ф.-м., профессор, мудири лабораторияи физикаи атмосфераи Институти физикаю техника ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел.: (+992) 93–489–60–14. E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com.

Маслов Владимир Анатольевич – н.и.х., корбари пешбари илмии лабораторияи физикаи атмосфераи Институти физикаю техники ба номи С У Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, шаҳри Душанбе Тел.: (+992) 917 251 032. E-mail: vamaslov@inbox.ru

Information about the authors: Abdullozoda Sabur Fuzail – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Atmospheric Physics of the Physical-Technical Institute named after. S. U. Umarov NAST. Tel: (+992) 918177390. E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com.

Abdujamilzoda Maftuna Abdujamil – Assistant, Department of Higher Mathematics and Physics, Polytechnic Institute of the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi in Khujand. Tel.: (+992) 928529600, E-mail: maftuna_02.96@mail.ru.

Maslov Vladimir Anatolyevich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, leading researcher at the Laboratory of Atmospheric Physics of the Physical-Technical Institute named after. S. U. Umarova NAST. Tel.: (+992) 917251032. E-mail: vamaslov@inbox.ru.

Мақола ба редакция ворид шуд: 08.01.2026

Аз тақриз баргашт: 10.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 06.13.2026

УДК: 539.1.074.55: 546.76(540)

**АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И НЕКОТОРЫЕ
ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА АНТИМОНИДА ИНДИЯ**

Баротов Н.И., *Гафоров С.

Дангаринский государственный университет

***Кулябский государственный университет имени Абуабдулло Рудаки**

Технический прогресс и внедрения, достигнутые наукой, свидетельствуют о бурном развитии не только общества, но и отрасли фундаментальных наук. Особенно быстро развиваются и внедряются результаты исследований в различные области науки, которые имеют широкие перспективы для развития электронной техники. Наряду с другими науками особенно быстро развиваются физика и химия полупроводников.

Современная электроника требует материалы с богатым и нетривиальным набором характеристик, так что одних лишь чистых кристаллов, служивших много лет, оказывается недостаточно, и, с другой стороны, непрерывно развивающаяся наука о «неупорядоченных системах», частным случаем которых являются жидкие полупроводники, требует надёжных экспериментальных данных для построения общей теории твёрдых тел.

Широкое применение полупроводников, особенно в качестве электронных приборов, такие как выпрямители тока, фотоэлементов, фотосопротивлений, терморезисторов, датчиков Холла, варисторов – нелинейных сопротивлений, грозовых разрядников, материалов для термо-электрогенераторов и т. д. – благодаря полупроводниковой электроники находится на передовой линии развитие новой техники. Кроме того, улучшение качества традиционных, а также освоение новых полупроводниковых материалов позволило приступить к созданию больших, сверхбольших, сверхбыстродействующих интегральных схем, удалось существенно повысить степень миниатюризации микроэлектронных устройств, разработать ряд классов принципиально новых оптоэлектронных и СВЧ- приборов, интенсивными темпами начата реализация возможностей волоконно - оптических линий связи и интегральной техники.

Поиск и получение новых полупроводниковых материалов невозможно без всестороннего изучения их физико-химических свойств в широком диапазоне температур, включая и жидкую фазу. Поэтому проблемы изучение и широкое применение бинарных и сложных полупроводников в твёрдом и жидком состоянии является актуальной.

Известно, что жидкие полупроводники имеют ряд преимуществ перед твёрдыми, они расширяют рабочий температурный диапазон приборов,

малочувствительны к внутренним и внешним воздействиям, при наличии примесей до одного процента наблюдается стабильность их характеристики и т. д.

Первоначальными объяснениями процесса плавления были в основном механические теории плавления, которые далеко нереально описывали процесс фазового перехода (модель Френкеля). В последнее время разработка частных теорий жидкого состояния состоит в том, что изучаются определенные модели, их выводы сравниваются с результатами эксперимента. Систематические исследования физических свойств у полупроводников различных структурных групп в широком температурном диапазоне позволили сделать некоторые обобщения, касающиеся изменения структуры ближнего порядка и характера химической связи при плавлении полупроводников и нагрева расплавов. На основе обширных результатов по характеру изменения физико-химических свойств при плавлении большой группы веществ. А. Р. Регелем и В. М. Глазовым была представлена классификация, согласно которой существуют следующие типы перехода из твёрдого состояния в жидкое: металл → металл, полуметалл → металл, полупроводник → полупроводник, полупроводник → металл, полупроводник → ионный проводник [1, ст.143]. Сохранение полупроводниковых свойств веществ в жидкой фазе А. Р. Регель и В. М. Глазов связывают с сохранением ближнего порядка и характера химической связи после плавления, свойственного твёрдому состоянию. Переходы остальных типов они объясняют разрушением пространственной системы гомеоплярных связей и перестройкой структуры ближнего порядка. Подтверждается правильность принципа академика А. Ф. Иоффе [3, ст.294], согласно которому определяющую роль для электронных полупроводников играет ближний порядок в расположении атомов и характера химической связи между атомами. Судя по характеру изменения электрических свойств, сделан вывод, что при плавлении у истинных металлов тип химической связи сохраняется, и скачок электропроводности подчиняется правилу Перлица и уравнению Мотта [4, ст.663, 5, ст.223] (за исключением переходных металлов). При плавлении полуметаллов усиливается металлический характер связи. Полупроводники при плавлении либо сохраняют свои свойства и соответственно, реализуется преимущественно гомеоплярный тип химической связи, либо переходят в металлическое состояние. Подобная классификация явилась итогом экспериментальных усилий многих исследователей, и очевидна её положительная роль для дальнейших работ в области жидких полупроводников. До последнего времени вывод принадлежности веществ к тому или иному типу перехода из твёрдого состояния в жидкое базировался исключительно на результатах исследования электропроводности и в некоторых случаях термо-эдс. В итоге, имея в виду интегральный характер этих физических параметров, их абсолютные значения и температурную зависимость не всегда позволяют достоверно утверждать, что данный расплав принадлежит к конкретному классу конденсированных фаз. В частности, если речь шла об электропроводности, то одновременное изменение подвижности и концентрация свободных носителей при плавлении не позволяет

строго различить на основе анализа этого параметра эффекты, связанные с разрушением дальнего порядка и эффекты, обусловленные изменением характера межчастичного взаимодействия. В результате возникает необходимость в расширении числа исследуемых свойств с той целью, чтобы выводы о переходе веществ из твёрдого состояния в жидкое были более обоснованными. Следует ещё добавить, что каждый полупроводниковый материал наряду с ожидаемыми эффектами при его исследовании может быть обнаружен и совсем неожиданно. Например, в начале разработки арсенида галлия едва ли кто - ни будь мог думать о применении его в качестве лазерного материала или, скажем, о применении усиления ультразвука, давно используемого в люминесценции ZnO. Поэтому, необходимо подчеркнуть, что работы по синтезу и кристаллизации новых полупроводниковых материалов требуют особого контроля физических, химических и технологических процессов.

Важная задача, решение которой крайне необходимо,- это управление свойствами полупроводников путём легирования различных примесей, ибо разнообразие свойств и, следовательно, сфер применения полупроводников в технике определяется не только различием энергетических спектров веществ: электронными процессами в полупроводниках можно управлять и путём легирования.

Комплексный подход к анализу электрофизических свойств расплавов сделан в последнее время в ряде работ [1, ст.143]. Показано, что экспериментальное исследование электропроводности, термо-эдс и эффекта Холла расплавленных веществ, обладающих к тому же значительной химической активностью, весьма сложно. Особенно это относится к эффекту Холла. Для решения задачи анализа изменения типа химической связи при плавлении и после плавления методом электрофизических исследований следует добавить и вопросы методологического аспекта. Дело в том, что современная теория полупроводников для твёрдого состояния достаточно разработана, а что касается теории жидких полупроводников, т. е. теории неупорядоченных систем, то она не позволяет достоверно предсказывать абсолютные значения физических свойств жидких полупроводников, и зачастую пользуется соотношениями, заимствованными из теории кристаллических полупроводников, основываясь на представлениях о сохранении зонного характера энергетического спектра носителей.

Наблюдается большой интерес исследователей к соединениям элементов III- V группы Периодической системы Д.И. Менделеева, в частности, антимионида галлия и индия, а также некоторых квазибинарных систем на их основе, в том числе: GaSb, InSb, InSb – GaSb и др.

Соединение $A^{III}B^V$ как в твёрдом, так и в жидком состоянии, изучены недостаточно. Фазовые равновесия в системах $A^{III} - B^V$ описываются диаграммами состояния с одним конгруэнтно плавящимся состоянием, которое образуется при

соотношении атомных процентов компонентов 1:1 и делении диаграммы на две простые диаграммы эвтектического типа [6, 256 ст.].

В работе [5, ст.223] описаны и анализируются особенности структуры и характера химической связи у соединений $A^{III}B^V$, изменения структуры ближнего порядка при плавлении, электропроводность и термо-эдс при высоких температурах, включая и жидкую фазу. На основе полученных результатов сделан вывод, что в момент плавления соединений группы $A^{III}B^V$ расплав оказывается «квазигетерогенным», сохраняя в отдельных микрообластях элементы рыхлой упаковки, свойственной кристаллу. Нагрев способствует уплотнению структуры за счёт разрушения этих микрообластей и увеличения при этом координационного числа, а значительный перегрев приводит к заметной термической диссоциации соединений. На основе результатов исследования электрофизических свойств и объёмных изменений при плавлении и жидком состоянии установлено, что соединения $A^{III}B^V$, в частности, InSb, GaSb, AlSb, при переходе из твёрдой фазы в жидкую изменяют характер химической связи от преимущественно гомеоплярной с некоторой долей ионной составляющей к металлической. При этом происходит разрушение пространственной системы жидких ковалентных связей, сопровождающихся переходом значительного числа электронов связи в свободное состояние. Эти выводы сделанные на основе изучения физических свойств подтверждаются данными рентгеноструктурного анализа, свидетельствующими о росте координационного числа при переходе из твёрдого состояния в жидкое. В то же время анализ температурной зависимости вязкости на основе теории активированного комплекса и уравнения Бачинского показал, что процесс трансформации структуры и характера химической связи в точке плавления не завершается до конца и распространяется на некоторый интервал температур уже в области жидкой фазы, т. е. наблюдается явление «послеплавления», о котором ещё говорили популярно. В этой области жидкость оказывается квазигетерогенной, и в ней присутствуют микрообласти, сохраняющие, в известной мере, наследственные черты строения твёрдой фазы. Расчеты, сделанные в работах [7, ст.271-294] для InSb, GaSb, AlSb, объёмная доля кластеров составляет тот же порядок, что и у элементарных полупроводников Ge и Si. В период после плавления при повышении температуры происходят процессы, сводящиеся к уплотнению структуры жидкости, т. е. к увеличению координационного числа и разрушению остатков гомеоплярных связей. Это заключение согласуется с выводами Данилова В. И. [1, ст.17]. Сделан вывод о том, что растворимость висмута в InSb носит ретроградный характер. Твёрдые и жидкие состояния могло бы дать возможность получить полные сведения об энергетическом спектре и механизме рассеяния носителей заряда, а также о физико-химических изменениях при легировании и плавлении в этих особых классах веществ.

Антимонид индия является наиболее изученным представителем соединений типа $A^{III}B^V$. Два обстоятельства вызывают интерес к этому полупроводнику. Во-первых, относительная лёгкость получения монокристалла InSb с чистотой на 2 – 3 порядка

большой, чем других соединений III и V групп. Во – вторых, InSb обладает необычными свойствами благодаря чрезвычайно высокой подвижности и небольшой эффективной массе электронов проводимости. Соединение InSb имеет структуру цинковой обманки. Его плотность и постоянная решетка при комнатной температуре 5,79 г/см³ и 6,48 Å соответственно. Проводимость, эдс и эффект Холла InSb выше температуры плавления имеют значения, характерные для жидких металлов [1, ст.18]. Диаграмма состояния In – Sb проведена на рисунке 1.

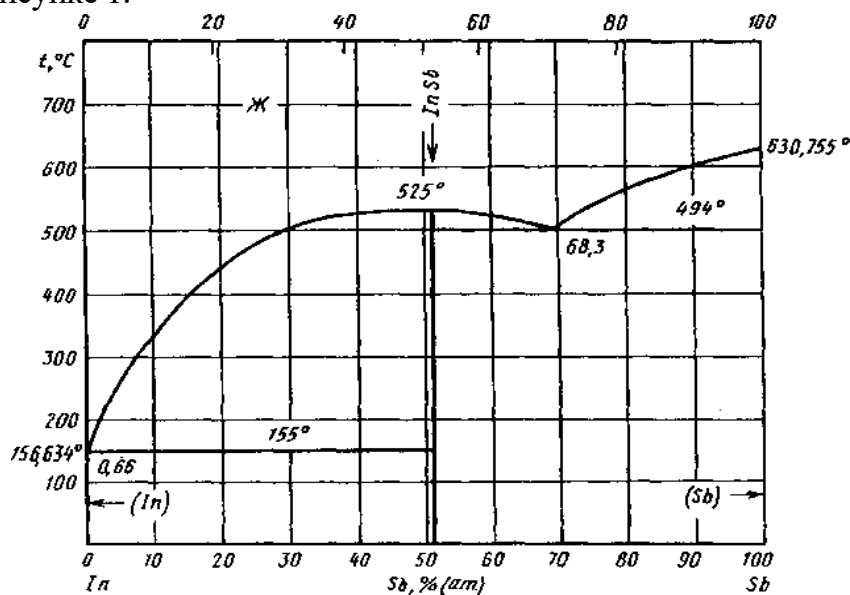


Рисунок 1. Диаграмма состояния In – Sb.

Много необычных свойств InSb связано с малой эффективной массой электронов проводимости и, следовательно, с их высокой подвижностью.

Хростовский и сотр. [1 ст.17-18] согласовали найденные ими экспериментальные подвижности с расчетными кривыми подвижностей носителей в кристаллической решетке и для примеси. Они получили следующее выражение для подвижности электронов в решетке:

$$\mu_L = 1,09 \cdot 10^9 \frac{\text{м}^2}{(\text{В} \cdot \text{с})}.$$

Это даёт значение 70000 см² /В·сек. при 300⁰ К. Херман и сотр. наблюдали электронную подвижность 500000см² / (В·сек). при 78⁰ К для образца, содержащего 10¹⁴ доноров в 1см³. Природа механизма рассеяния для InSb и других соединений III и V групп до сих пор не выяснена. Однако Эренрейх [1 ст. 19]. привёл аргументы в пользу того, что при комнатной температуре подвижность электронов определяется рассеянием на продольных оптических колебаниях. По его оценке, подвижность при акустическом рассеянии может быть ~10⁶ см²/ (В·сек). при комнатной температуре. Коэффициент Холла имеет ярко выраженный максимум, который сдвигается к высоким температурам с увеличением содержания примесей. Авторы [8, ст. 271-294, 9, ст.1492-1505, 10, ст.1532-1539.] оценили энергию ионизации акцепторов 0,007 эВ из температурно, зависимости коэффициенты Холла на высокотемпературной стороне максимума. Это значение находится в хорошем согласии с энергией

ионизации, ожидаемой для водородоподобных акцепторов. Аналогичные результаты получены Фрицше и Ларк – Горовитцем. Подвижность в примесной зоне была около $1\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{сек}$. Ввиду очень низкого значения эффективной массы электронов энергия ионизации доноров оценена всего лишь $6 \cdot 10^{-4}$ эВ. Неясно, имеется ли заполнение донорных уровней при температурах ниже $1,3^0$ К в образцах, содержащих 10^{15} доноров на 1см^3 . Сущность явления состоит в том, что при этих концентрациях донорные примеси образуют зону, которая перекрывает зону проводимости. Считается, что существование перекрывания ставит под вопрос, могут ли эти измерения InSb n-типа рассматриваться как характеризующие действительно зону проводимости, если - нет, то в какой мере ширина зоны видоизменяется донорным состоянием. Хротовский и сотр. [1, ст. 19] нашли, что энергия ионизации доноров, равная 10^{-3} эВ, наблюдается при 28 К в образцах, содержащих около 10^{13} доноров на 1см^3 .

Теплопроводность InSb впервые измерена Бушем и Шнайдером в температурной области от -180 до 500 К, получены высокие значения, близкие к теплопроводности металлов [1, ст.17-25.]. При низких температурах теплопроводность подчиняется закону T^{-1} , применимому к решёточной теплопроводности. Для приведения в соответствие со значениями при высоких температурах был использован дополнительный член, имеющий формулу;

$$\chi = A \cdot \exp(-26/КТ). \quad (1)$$

Введение этого члена вызвано электронной частью теплопроводности, пропорциональной плотностью тока. Впрочем, Штукес не наблюдал увеличения теплопроводности, вызываемой электронной составляющей. Ее величины были значительно ниже в температурной области от 40 до 425 К, имея при 225 К значения между 0,02 и 0,03 кал/($\text{см}^2 \cdot \text{град}$).

Таким образом, как видно из вышеизложенного, интерес к антимониду индия огромен. Имеется немало публикаций по электрофизическим, оптическим и другим свойствами InSb, однако существуют и некоторые противоречия, требующие дальнейшего исследования.

Литература

1. Баротов Н.И. Исследование физико-химических параметров легированных полупроводниковых материалов на основе антимонида индия. Кандидатская диссертация; 143 стр. Душанбе – 2024.
2. Глазов, В.М. Жидкие полупроводники / В. М. Глазов; АН СССР, Ин-т металлургии им. А.А.Байкова. –М.: Наука, 1967. – 244 с.: ил..
3. Регель А.Р., Глазов В. М., Физические свойства электронных расплавов. / А.Р. Регель, В. М. Глазов, // - М.: Наука, 1980, 294с., с илл.
4. Мотт Н. Ф., Девис Э. А., Электронные процессы в некристаллических вещества. /Н. Ф. Мотт, Э. А. Девис, - М.: Мир часть I-II ,1982, 663ст., с илл

5. *Иоффе А.Ф.* Избранные труды, // - Л.: 1975, т. I-II, 223с.
6. *Катлер М.* Жидкие полупровод: /*М. Катлер*, - М.: Мир, 1980, 256 с., с илл.
7. *Крокстон К. А.*, Физика жидкого состояния: /*К. А. Крокстон*, - М.: Мир, 1978, 400ст.
8. *Каримов С. К.* Основы физики и химии полупроводников (второе издание переработанное и дополненное). /*С. К. Каримов*, - Москва издательство «Высшая школа» - 2003- с. 271- 294
9. Anderson P. W. Absence of diffusion in certain random lattices, / P. W. Anderson, phys. Rev., 1963, v. 109, №5, p. 1492- 1505.
10. *Глазов В.М., Айвазов А.А., Колцов В.Б.* Исследование электропроводности и эффекта Холла у антимонида индия в близи температуры плавления в твердом и жидком состоянии. / *В.М. Глазов, А.А.Айвазов, В.Б Колцов //*, - ФТП,1980, т.14, №8, - М.: стр.1532-1539.

ТАҲЛИЛИ НАЗАРИЯИ ФИЗИКӢ ВА КИМИӢИИ МАВОДҲОИ НИМНОҚОЛӢ ВА БАЪЗЕ ХУСУСИЯТҲОИ АСОСИИ АНТИМОНИДИ ИНДИЙ

Фшуурда. Дар мақола оид ба таҳқиқи комплекси маводҳои нимноқилҳои бинарӣ ва мураккаб сухан рафта, омӯзиш ва истифодаи ин маводҳо дар ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ масъалаи муҳим доништа шудааст. Оид ба баъзе тағйироти умумие, ки дар сохтор ва банди кимиёвӣ ҳангоми таҳқиқоти систематикӣ хосиятҳои физико - химиявӣ нимноқилҳои сохтори гуногун дар ҳудудҳои васеи ҳарорат мушоҳида мешавад, маълумот дода шудааст. Дар бораи хосиятҳои моддаҳо, махсусан ҳангоми гузариш аз ҳолати сахтӣ ба моеъгӣ метавонад натиҷаи ғайриҷашмдошт ҳосил шавад, маълумоти мушахас дода шуда, қайд гардидааст, ки омӯзиши таҷрибавӣ электрикгузаронӣ, қэҶ-и гармой ва зарби Холли моддаҳои гудохта, хеле мураккаб буда, ин барои пайвастагиҳои намуди $A^{III}B^V$ дар ҳолатҳои моеъгӣ, ба қадри кофӣ омӯхта нашудаанд.

Пайвастагиҳои намуди $A^{III}B^V$ бахусус намунаҳои InSb, GaSb, AlSb, ҳангоми гузариш аз ҳолати сахтӣ ба фазаи моеъгӣ, банди кимиёвиро аз гомеополарӣ бо фоизи муайян ба металлӣ тағйир медиҳанд. Вобастагии ҳароратии часпакӣ дар асоси назарияи комплекси ва хусусияти банади кимиёвӣ дар нуктаи гудозиш пурра анҷом наёфтааст ва баъзе номувофиқҳо байни назария ва таҷриба мавҷуданд, ки омӯзиши минбаъдaro талаб мекунад.

Калидвожа: нимноқил, техникаи электронӣ, хосиятҳои физикӣ ва химиявӣ, диапазони васеи ҳарорат, фазаи моеъ, нимноқилҳои дучанда ва мураккаб, ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ, гузариши фазавӣ, гудозиш, гомеополарӣ

АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И НЕКОТОРЫЕ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА АНТИМОНИДА ИНДИЯ

Аннотация. В статье рассматривается комплексное исследование бинарных и сложных полупроводниковых материалов, при этом изучение и применение этих материалов в твердом и жидком состояниях рассматривается как важная проблема. Приведена информация о некоторых общих изменениях в структуре и химических связях, наблюдаемых в ходе систематических исследований физико-химических свойств полупроводников различной структуры в широком диапазоне температур. Приведена конкретная информация о свойствах веществ, особенно при переходе из твердого состояния в жидкое, что может приводить к неожиданным результатам, и отмечено, что экспериментальное исследование электропроводности, теплопроводности и коэффициента Холла расплавленных веществ является очень сложным и недостаточно изучено для соединений типа $A^{III}B^V$ в жидком состоянии.

Соединения типа $A^{III}B^V$, особенно InSb, GaSb, AlSb, при переходе из твердой фазы в жидкую изменяют химическую связь с гомополярной на металлическую на определенный процент. Температурная зависимость вязкости, основанная на комплексной теории, и природа химической связи в точке плавления не до конца понятны, и существуют некоторые несоответствия между теорией и экспериментом, требующие дальнейшего изучения.

Ключевые слова: полупроводник, электронная техника, физико-химические свойства, широкий диапазон температуры, жидкая фаза, бинарных и сложных полупроводников, твёрдое и жидкое состояние, фазовый переход, плавление, гомеополар.

ANALYSIS OF PHYSICAL AND CHEMICAL THEORY OF SEMICONDUCTOR MATERIALS AND SOME BASIC PROPERTIES OF INDIUM ANTIMONIDE

Annotation. The article deals with the complex study of binary and compound semiconductor materials, and the study and application of these materials in solid and liquid states are considered an important issue. Information is given on some general changes in the structure and chemical bond observed during systematic studies of the physicochemical properties of semiconductors of various structures in a wide range of temperatures. Specific information is given on the properties of substances, especially when transitioning from a solid to a liquid state, which can lead to unexpected results, and it is noted that the experimental study of electrical conductivity, thermal conductivity and Hall coefficient of molten substances is very complicated, and this has not been studied sufficiently for compounds of type $A^{III}B^V$ in liquid states.

Compounds of type $A^{III}B^V$, especially InSb, GaSb, AlSb, when transitioning from a solid to a liquid phase, change the chemical bond from homopolar to metallic by a certain percentage. The temperature dependence of viscosity based on complex theory and the nature of the chemical bond at the melting point is not fully

understood, and there are some inconsistencies between theory and experiment that require further study.

Keyword: semiconductor, electronic engineering, physical and chemical properties, wide temperature range, liquid phase, binary and complex semiconductors, solid and liquid state, phase transition, melting, homopolar.

Маълумот дар бораи муаллифон: Баротов Намозкул Иноятович – н.и.х., омӯзгори кафедраи физика ва географияи Донишгоҳи давлатии Данғара. Суроға: 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, вилояти Хатлон, ноҳияи Данғара, куч. Марказӣ, 25. Тел.: (+992)918-51-20-40; (+992)938-25-69-69. E-mail: namozali.barotov@mail.ru.

Гафоров С. – н.и.ф.-м., дотсенти кафедраи физикаи умумӣ ва назариявии Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абӯабдуллоҳи Рӯдакӣ. Суроға: ш. Куляб, куч. С.Сафаров 16. Тел.: (+992)987221149. E-mail: kgurektor@mail.ru. www.kgu.tj.

Информация об авторах: Баротов Намозкул Иноятович – к.х.н., преподаватель кафедры физики и географии Дангаринского государственного университета. Адрес: 735320, Республика Таджикистан, Хатлонская область, Дангаринский район, ул. Маркази, 25. Тел.: (+992) 918-51-20-40; (+992) 938-25-69-69. E-mail: namozali.barotov@mail.ru.

Гафоров С. – к.ф.-м.н., доцент кафедры общей и теоретической физики Кулябского государственного университета имени Абуабдулло Рудаки. Адрес: Контактная информация: г. Куляб, ул. С.Сафарова 16. Тел.: (+992)987221149. E-mail: kgurektor@mail.ru. www.kgu.tj.

Information about the authors: Barotov Namozkul Inoyatovich – candidate of chemical sciences, lecturer of the Department of Physics and Geography of Dangara State University. Address: 735320, Republic of Tajikistan, Khatlon region, Dangara district, Markazi, 25. Phone: (+992) 918-51-20-40; (+992) 938-25-69-69. E-mail: namozali.barotov@mail.ru.

Gaforov S. – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the Department of General and Theoretical Physics of the Kulob State University named after Abuabdullo Rudaki. Contact information: Kulob, st. S. Safarov 16. Phone: (+992)987221149. E-mail: kgurektor@mail.ru. www.kgu.tj.

Рецензент: Садриддинзода С.С. – к.т.н., доцент, Дангаринский государственный университет

Мақола ба редакция ворид шуд: 08.01.2026

Аз тақриз баргашт: 10.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 05.03.2026

**ТАҲҚИҚИ ҲАЛЛИ МАСЪАЛАҲОИ ФИЗИКӢ ТАВАССУТИ
МОДЕЛРОНИИ КОМПЮТЕРӢ**

***Нурализода А. Ғ., Олимӣ А.Р., Каримзода А.Н.**

***Директори маркази технологияи информатсионӣ ва коммуникатсионӣ
вилояти Хатлон
Донишгоҳи давлатии Данғара**

Барномаҳои таълимӣ компютерӣ ба рушди малакаҳо барои ҳалли масъалаҳои физика ва дарки ҳодисаҳои физикӣ таъсири назаррас мерасонанд. Ҳадафи асосии ин барномаҳо омӯختан ва татбиқи усулҳои рақамӣ ва барномаҳо барои моделсозӣ ва таҳлили равандҳои физикӣ мебошад.

Дар давоми курс, донишҷӯён бо алгоритмҳои асосии ҳалли масъалаҳои физика шинос мешаванд, бастаҳои барномаҳои васеъ истифодашаванда (ба монанди Python, MATLAB ва QBasic)-ро меомӯзанд ва супоришҳои амалиро дар соҳаҳои гуногуни физика иҷро мекунанд.

Моделҳои компютерӣ дар шарҳи ҳодисаҳои физикӣ ва ҳалли масъалаҳои физикӣ мавқеъи махсусро ишғол менамояд. Нишон додани равандҳо ва ҳодисаҳои физикӣ бо истифода аз модели компютерӣ нисбат ба усулҳои анъанавӣ, ба монанди тахтаи сиёҳ ва бур, визуалӣ ва самаранок мебошад [5, с.37].

Моделҳои сохташуда дар ин ё он шакл дар таълим васеъ истифода мешаванд. Масалан, барои омӯзиши ҳодисаҳои табиат дар физика, диаграммаҳо ва ҷадвалҳои гуногун истифода мешаванд, ки хосиятҳои объекти омӯхташавандаро инъикос мекунанд. Омода кардани ҳодисаи физикиро метавон ҳамчун моделсозии рӯйдод ё раванд бо истифода аз методҳои физикӣ баррасӣ кард [3, с.197].

Моделҳои объектҳои воқеии омӯхташаванда низ дар дарсҳои физика истифода мешаванд.

Ҳалли масъалаҳои физикӣ ва таҳқиқӣ ҳодисаи физикӣ бо гурӯҳи хурди донишҷӯён тариқи монитор ё тариқи таҷҳизоти проексионӣ барои намоиши тасвир дар экрани калон тарҳрезӣ карда мешавад. Баъди гузаронидани курсҳои компютери ба донишҷӯён фаҳмонда мешавад, ки бо моделҳои компютер дар озмоишгоҳи компютерӣ ё дар хона кор кунанд [6, с.167].

Озмоишгоҳи виртуалӣ ба донишҷӯён имкон медиҳанд, ки дар идоракунии равандҳо ҳодисаҳои физикӣ дар экран эътимод пайдо кунанд ва ба маъноӣ ҳодисаҳои физикӣ беҳтар сарфаҳм раванд.

Бартари воқеияти виртуалӣ дар алоқамандии номаҳдуди корбар бо ин муҳит аст. Моделҳои фазои гуногунро бидуни маҳдудиятҳои физикӣ омӯхтан ва санҷидан мумкин аст [6, с.78].

Дар ҳолати ба фаъолияти таълимӣ фаъолона ҷалб намудани донишҷӯён якчанд методҳои таълимиро истифода бурдан лозим аст: мушкилоти омузишӣ, алоқамандии байни фанҳои таълимӣ, истифодаи технологияҳои компютерӣ.

Таҳқиқи хусусиятҳои тафаккури физикӣ таҳлили доираи васеи масъалаҳоро дар бар мегирад. Номбар кардани ҳамаи хусусиятҳои хоси тарзи қабулшудаи тафаккур дар физикаи муосир, ки дар маҷмӯъ самаранокии фавқуллодаи онро дар таҳлили ҳодисаҳои номаълум ва нофаҳмои табиат муайян мекунад, ғайриимкон аст [10, с.301].

Бояд қайд намуд, ки фаҳмиш ва истифодаи методикаи истифодаи технологияҳои иттилоотию коммуникатсионӣ (ТИК) ҳамчун илм дар бораи шаклҳои интихоб ва татбиқи технологияҳои педагогӣ, аз ҷумла ТИК, қисмҳо ва воситаҳои ноил шудан ба мақсадҳои таълим дар асоси мундариҷаи мушаххаси фанни таълимӣ дар ҳолатҳои гуногуни психологию педагогӣ зарурати ҳалли масъалаеро ба миён мегузорад.

Таҳияи чунин модели компютерӣ сохтори дидактикиеро менамояд, ки намунаи шартии ба таври сунъӣ офаридашудаи ҳодисаи додасуда дар шакли тавсифи ҷузъҳои сохтори он ва робитаҳои байни онҳо муайян кардашуда баррасӣ карда мешавад. Аз рӯи монандии ҳодисаи додасуда қобилияти бозсозӣ ва инъикоси дидактикиро баҳо медиҳанд. Азбаски модели виртуалӣ ва муҳити он дар фазои рақамӣ сохта мешаванд, онҳо аз маҳдудиятҳои ҷаҳони физикӣ ва вақт озоданд [9, с.301].

Унсурҳои асосии сохторӣ, ки анъанавӣ дар фанни "Омузиши амалии компютерӣ дар ҳалли масъалаҳои физикӣ" дохил карда шудаанд, инҳоянд:

- Таҳлили математикии масъалаҳои асосии физикӣ дар шакле, ки барои ҳалли минбаъдаи рақамӣ мувофиқ аст. Ҳолати мазкур шинос будан бо маҷмӯи муайяни усулҳои математикиро, ки дар физика истифода мешаванд, талаб мекунад.

- Усулҳои рақамӣ, ки ҳангоми ҳалли масъалаҳои асосии физикӣ дар шакли умумӣ истифода мешаванд, дурусти ва устувории ҳадди аксарро таъмин мекунад. Интихоби онҳо аз рӯи хусусиятҳои фан, бо назардошти дониши ба даст овардашуда дар омузиши фанҳои номбаршуда муайян карда мешавад.

- Нақшаи алгоритмии ба компютер нигаронидашуда, ки барои ҳалли масъалаҳо мувофиқанд ва инчунин хусусиятҳои инфиродии масъаларо истифода мебаранд. Ин нақшаҳо бояд якҷоя бо муҳити муайяни ҳисоббарорӣ ё забони барномасозӣ баррасӣ карда шаванд [5, с.11].

Яке аз барномаҳое, ки барои таҳлили ҳодисаҳои физикӣ ва ҳалли мисолу масъалаҳои физикӣ ва математикӣ истифода мешаванд, барномаҳои компютери Python, "QBasic (Бейсик) ва МАТЛАБ" мебошанд. Барномаи Python барои ҳалли масъалаҳои дорой характери ҳам

ҳисобӣ ва ҳам ғайриҳисобӣ ва инчунин барои муколамаи байни корбару компютер пешбинӣ шудааст. Истифодаи он хеле оддӣ аст.

Баъзе намунаҳои забони Python безарурат барои ҳамаи сатрҳо нишон додани рақами тартибиро талаб намекунад. Дар ин гуна намунаҳо танҳо ба он сатрҳое рақам мегузоранд, ки идоракунӣ ба онҳо равона шуда бошад. Дар намунаҳое, ки сатрҳояшон рақам доранд, дар навбати аввал сатри рақами тартибиаш аз ҳама хурдтар иҷро мешавад. Одатан, сатрҳоро бо қадами 10 рақамгузорӣ мекунад, ки ин барои ба барнома илова намудани сатрҳои нав имконият фароҳам меоварад [4].

Python ба корбарии компютер имконияти истифодаи зербарномаҳои тайёрро, ки дар хазинаи он маҳфузанд, фароҳам меоварад. Одатан, қисми зиёди чунин зербарномаҳо барои ҳисоббарориҳои қимати функцияҳои одитарин (элементарӣ), ки аз онҳо функцияҳои стандартӣ ном бурда мешавад, пешбинӣ шудаанд [8, с.25].

Дар ҳалли масъалаҳои физикӣ усулҳои тақрибӣ васеъ истифода мешаванд. Истифодаи усулҳои тақрибӣ аксар вақт на танҳо ҳалли масъаларо осон мекунад, балки имкон медиҳад, ки натиҷа дар шакли барои тадқиқот мувофиқтар пешниҳод карда шавад. Дар баъзе мавридҳо, вақте ки ҳатто натиҷаи тақрибӣ аз сатҳи қабулшудаи пешниҳод берун рафтано талаб мекунад, тахминҳои истифода мешаванд, ки тасвири сифатӣ ва тартиби бузургиро пешниҳод мекунад. Ниҳоят, тавачҷӯҳ ба имконияти равишҳои гуногуни ҳалли масъала чалб карда мешавад [4, с.6].

Барномаи Python маҷмӯи дастурҳое мебошад, ки бо забони барномасозии сатҳи баланди Python навишта шудааст. Барномаи мазкур бо наҳви(синтаксиси) содда ва рамзи хондашавандаи худ тавсиф дода мешавад. Забони тафсиршавандаи мазкур умумӣ буда, барои сохтани барномаҳои веб, таҳлили маълумот, зеҳни сунъӣ ва худкорӣ истифода мешавад [2, с.24].

Хусусиятҳо ва имкониятҳои асосии Python

1. Python забони барномасозии тафсиршуда аст — рамз сатр ба сатр дар вақти воқеӣ иҷро карда мешавад. Ин хусусият имкон медиҳад, ки барнома зуд аз нав дида баромада шавад ва код бидуни ниёз ба тартибдиҳӣ тасдиқ карда шавад.

2. Python забони динамикии чопшуда мебошад, яъне намудҳои тағйирёбанда ҳангоми иҷрои рамз ба таври худкор муайян карда мешаванд. Ин барномасозиро содда мекунад ва ҳангоми кор бо намудҳои гуногуни маълумот онро чандир мегардонад.

3. Python барномасозии объективиро дастгирӣ мекунад ва имкон медиҳад, ки рамз ҳамчун объектҳои таҳия карда шавад ва бо ҳамдигар ҳамкорӣ кунанд. Чунин модул рамзро такроран истифодашаванда мегардонад.

4. Барномаи Python инчунин барномасозии императивӣ, функционалӣ ва ҷанбаи нигаронидашударо дастгирӣ мекунад. Ин ба таҳиягарон имкон медиҳад, ки барои вазифаи мушаххас равиши дурустро интихоб кунанд.

Хулоса, барномаи Python як забони барномасозии пуриқтидор ва осон истифодашаванда буда, ба шумо имкон медиҳад, ки лоиҳаҳои гуногун эҷод кунед ва роҳҳои ҳалро барои доираи васеи мушкилот пайдо кунед [1, с.69].

Соддагӣ ва гуногунҷабҳагии барнома, онро барои истифода дар соҳаҳои гуногун, ҳатто барои барномасозони навқор, мувофиқ мегардонад. Ҷомеаи бузурги таҳиягарон ҳангоми кор бо забон кӯмак ва дастгирӣ мерасонад.

Қобилияти иҷро кардани барномаи Python дар системаҳои гуногуни амалиётӣ ба шумо имкон медиҳад барномаҳо ва скриптҳо эҷод кунед, ки метавонанд дар муҳитҳои гуногун бидуни аз нав навиштани код иҷро шаванд. Асбобҳо ва китобхонаҳои иловагӣ имкон медиҳанд, ки барномаи Python дар таҳлили маълумот, омӯзиши мошинӣ, таҳияи веб ва бисёр соҳаҳои дигар истифода шавад.

Барномаи Python як забони динамикӣ чопшуда мебошад, яъне номҳо метавонанд қиматҳои намудҳои гуногунро дар вақти иҷро ифода кунанд. Дар ҳақиқат, номҳое, ки дар барнома истифода мешаванд, танҳо нишонаҳо барои бузургҳо ва объектҳои гуногун мебошанд. Оператори таъинкунӣ танҳо алоқамандиро байни ном ва бузургӣ эҷод мекунад. Ин яке аз фарқиятҳои байни ин забон аз барномаи C мебошад, ки дар он номҳо бо объектҳо бо андоза ва макони доимӣ дар хотира ифода карда мешаванд, яъне дар он натиҷаҳо нигоҳ дошта мешаванд. Ҳама маълумот дар барномаи Python бо объектҳо ифода карда мешаванд. Номҳо танҳо як шакли иқтибос ба ин объектҳо мебошанд ва ҳеҷ гуна сарбории намудро надоранд [7].

Барои мисол ҳалли якчанд масъалаи физикиро дида мебароем, ки тариқи ҳақиқӣ ва тариқи барномаи компютери Python коркард шудааст.

Масъалаи 1. Поезди дарозиаш 240 м мунтазам ҳаракат карда, пули дарозиаш 360 м –ро дар 2 дақиқа гузашт. Суръати поезд ба чӣ баробар буд?

Ҳал:

Д.ш.а:

$$l = 240 \text{ м}$$

$$s_1 = 360 \text{ м}$$

$$t = 120 \text{ с}$$

$$g = ?$$

Ҳангоми ба ибтидои пул расидани поезд масофае, ки интиҳои поезд бояд тай намояд ба суммаи дарозии пул ва дарозии поезд баробар аст:

$$s = s_1 + l = 360 \text{ м} + 240 \text{ м} = 600 \text{ м}$$

Аз суръати ҳаракати ростхаттаи мунтазам истифода мебарем:

$$g = \frac{s}{t} = \frac{600 \text{ м}}{120 \text{ с}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ҷавоб: $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Масъалаи 1 тариқи барномаи компютери Python чунин ҳал карда мешавад.

Коди барномаи Python бо график

```
import numpy as np
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
# Додаҳои масъала
```

```
train_length = 240 # м
```

```
bridge_length = 360 # м
```

```
time_total = 120 # с
```

```
# Масофаи умумӣ
```

```
distance_total = train_length + bridge_length # 600 м
```

```
# Суръат
```

```
v = distance_total / time_total
```

```
print("Суръати поезд =", v, "м/с")
```

```
print("Суръати поезд =", v*3.6, "км/соат")
```

```
# Вақт барои график
```

```
t = np.linspace(0, time_total, 100)
```

```
# Қонуни ҳаракат: S = v*t
```

```
S = v * t
```

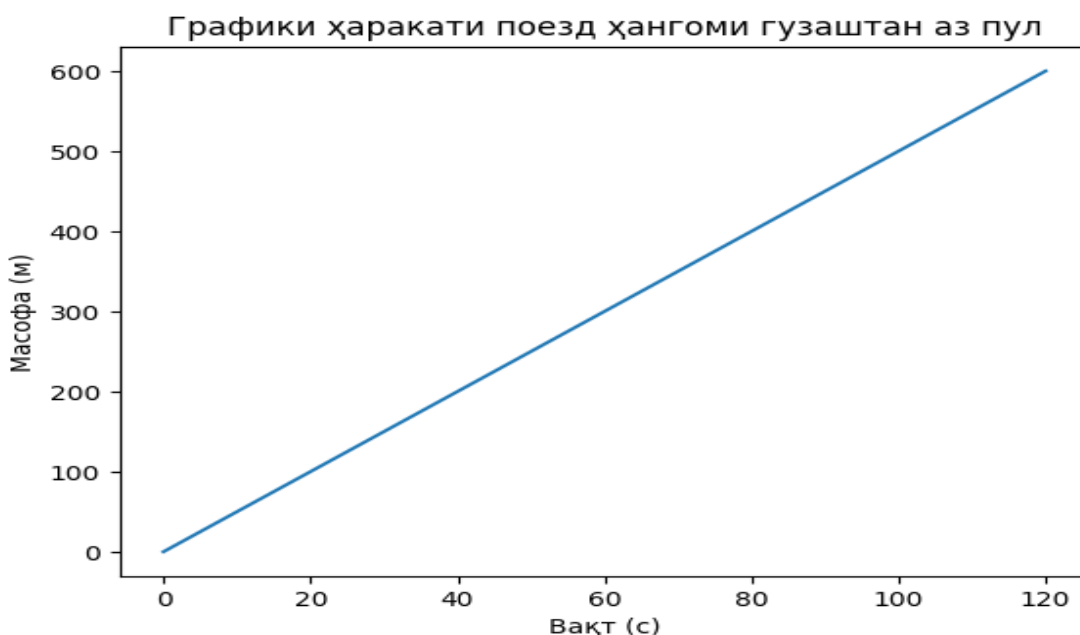
```
# Сохтани график
```

```
plt.figure()
```

```
plt.plot(t, S)
```

```
plt.xlabel("Вақт (с)")
plt.ylabel("Масофа (м)")
plt.title("Графики ҳаракати поезд ҳангоми гузаштан аз пул")
plt.show()
```

Суръати поезд = 5.0 м/с
Суръати поезд = 18.0 км/соат



Масъалаи 2. Автомобил дар як дақиқа 600 м, дар 30 сонияи оянда 480 м ва дар 0,5 дақиқаи охир 0,9 км масофаро тай кард. Суръати миёнаро дар тамоми роҳ ёбед.

Ҳал:

Д.ш.а:

$$t_1 = 60 \text{ с}$$

$$s_1 = 600 \text{ м}$$

$$t_2 = 30 \text{ с}$$

$$s_2 = 480 \text{ м}$$

$$t_3 = 30 \text{ с}$$

$$s_3 = 900 \text{ м}$$

$$g_m = ?$$

Аз формулаи суръати миёна дар ҳаракати номунтазам истифода мебарем.

$$g_m = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

Қиматҳои ададии шартӣ масъаларо гузошта, суръати миёнаи ҳаракати автомобилро муайян мекунем:

$$g_m = \frac{600 \text{ м} + 480 \text{ м} + 900 \text{ м}}{60 \text{ с} + 30 \text{ с} + 30 \text{ с}} = 16,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

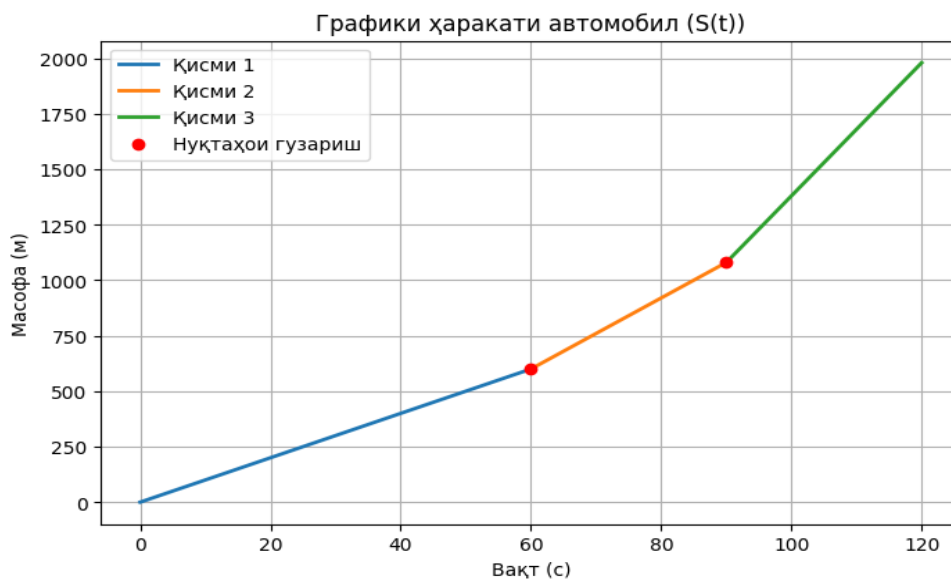
Ҷавоб: $16,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Масъалаи 2 тариқи барномаи компютери Python чунин ҳал карда мешавад.

Коди барномаи Python бо график

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# =====
# Додаҳо
# =====
S1 = 600    # м (дар як дақиқа)
t1 = 60    # с (1 дақиқа = 60 с)
S2 = 480    # м (дар 30 с)
t2 = 30    # с
S3 = 900    # м (0.9 км = 900 м, дар 0.5 дақиқа)
t3 = 30    # с (0.5 дақиқа = 30 с)

# =====
# Масофа ва вақти умумӣ
# =====
S_total = S1 + S2 + S3
t_total = t1 + t2 + t3
# Суръати миёна
v_avg = S_total / t_total
print("Масофаи умумӣ =", S_total, "м")
print("Вақти умумӣ =", t_total, "с")
print("Суръати миёна =", v_avg, "м/с")
print("Суръати миёна =", v_avg * 3.6, "км/соат")
# =====
# Сохтани графики ҳаракат (қисм-қисм)
# =====
t_part1 = np.linspace(0, t1, 50)
S_part1 = (S1 / t1) * t_part1
t_part2 = np.linspace(t1, t1 + t2, 50)
S_part2 = S1 + (S2 / t2) * (t_part2 - t1)
t_part3 = np.linspace(t1 + t2, t_total, 50)
S_part3 = S1 + S2 + (S3 / t3) * (t_part3 - (t1 + t2))
# =====
# График
# =====
```



```
plt.figure(figsize=(8,5))
plt.plot(t_part1, S_part1, label='Қисми 1', linewidth=2)
plt.plot(t_part2, S_part2, label='Қисми 2', linewidth=2)
plt.plot(t_part3, S_part3, label='Қисми 3', linewidth=2)
plt.scatter([t1, t1+t2], [S1, S1+S2], color='red', zorder=5, label='Нуқтаҳои гузариш')
```

```
plt.xlabel("Вақт (с)")
plt.ylabel("Масофа (м)")
plt.title("Графики ҳаракати автомобил (S(t))")
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

Натиҷа

Масофаи умумӣ = 1980 м

Вақти умумӣ = 120 с

Суръати миёна = 16.5 м/с

Суръати миёна = 59.4 км/соат

Дар барномасозии функционалӣ, тамоми маҷмӯи ҳолатҳои пайдарпайи раванди ҳисобкунӣ ба таври возеҳ, масалан, дар ҳолати зарурӣ, ҳамчун рӯйхат нишон дода мешавад. Барномасозии функционалӣ нишон медиҳад, ки натиҷаҳои функсияҳо аз маълумоти аввала ва натиҷаҳои дигар функсияҳо ҳисоб карда мешаванд ва нигоҳдории возеҳи ҳолати барнома дар назар надорад. Мувофиқан, барномаҳои функционалӣ тағйирпазирии ин ҳолатро дар назар намегирад (бар хилофи барномасозии императивӣ, ки дар он яке аз

мафҳумҳои асосӣ тағйирёбандаест, ки қимати(натиҷаи) онро нигоҳ медорад ва имкон медиҳад, ки ҳангоми иҷрои алгоритм тағйир дода шавад) [9, с.13].

Равандҳо ва ҳодисаҳои физикиро тариқи модели компютерӣ шарҳ додан, усули содае мебошад, ки нисбат ба усулҳои анъанавӣ хело самараноктар мебошад.

Адабиёт

1. *Бизли Д. М.* Язык программирования Python: справочник: пер. с англ. / Д. М. Бизли. – Киев: ДиаСофт, 2000.
2. *Буйначев, С. К.* Основы программирования на языке Python: учебное пособие / С. К. Буйначев, Н. Ю. Боклаг. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 91, [1] с.
3. *Г.А. Бордовский, А.С. Кондратьев, А.Д.Р. Чоудери* Физические основы математического моделирования: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 319 с.
4. *Гифт Н.* Python в системном администрировании UNIX и Linux : пер. с англ. / Н. Гифт, Д. Джонс. – СПб. : Символ-Плюс, 2009.
5. *Горяев М. А.* Решение физических задач на компьютере: учеб. пособие / Горяев М. А. С.-Петерб. гос. электротехн. ун-т "ЛЭТИ". - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2008. - 63 с.
6. *Кондратьев А.С., Ляцев А.В.* Физика. Задачи на компьютере: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений/ - М.Физматлит, 2008. - 397 с.
7. *Лейнингем И.* Освой самостоятельно Python за 24 часа : пер. с англ. / И. Лейнингем. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2001.
8. *Лесса А.* Python. Руководство разработчика : пер. с англ. / А. Лесса. – СПб. : ДиасофтЮП, 2001.
9. *Олими А.Р., Набиев Дж.Г.* Компьютерное моделирование модели «Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника». Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара 2024 №4 (30).
10. *Олимӣ А. Р., Валиев М.Х.* Имкониятҳои истифодаи технологияҳои иттилоотӣ ва коммуникатсион дар раванди таълими фанни физика. модели компютери "импулси чисм". ПАЁМИ ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН 2025 №4 С . 301.
11. *Язык программирования Python / Г. Россум [и др.].* – СПб. : АНО «Институт логики» – Невский диалект, 2001.

ТАҲҚИҚИ ҲАЛЛИ МАСЪАЛАҲОИ ФИЗИКӢ ТАВАССУТИ МОДЕЛРОНИИ КОМПЮТЕРӢ

Фиишурда. Мақолаи мазкур ба ҳалли масъалаҳои физикӣ ва таҳқиқи равандҳои физикӣ тариқи моделрони компютерӣ бахшида шудааст. Истифодаи моделҳои компютерӣ дар таҳқиқи ҳодисаҳои физикӣ ва ҳалли масъалаҳои физикӣ мавқеи махсусро ишғол менамояд.

Моделҳои компютерӣ дар шарҳи ҳодисаҳои физикӣ ва ҳалли масъалаҳои физикӣ мавқеи махсусро ишғол менамояд. Нишон додани равандҳо ва ҳодисаҳои физикӣ бо истифода аз модели компютерӣ нисбат ба усулҳои анъанавӣ самаранок мебошад.

Калидвожаҳо: компютер, физика, технологияҳои компютерӣ, масъалаҳои физикӣ, ҳодисаҳои физикӣ, донишҷӯ, барномаҳои компютерӣ, функсияҳо.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Данная статья посвящена решению физических задач и исследованию физических процессов с помощью компьютерного моделирования. Особое место занимает использование компьютерных моделей в исследовании физических явлений и решении физических задач.

Компьютерные модели занимают особое место в объяснении физических явлений и решении физических задач. Изображение физических процессов и явлений с помощью компьютерных моделей более эффективно, чем традиционные методы.

Ключевые слова: компьютер, физика, компьютерные технологии, физические задачи, физические явления, студент, компьютерные программы, функции.

STUDY OF SOLVING PHYSICAL PROBLEMS USING COMPUTER MODELING

Annotation. This article is devoted to solving physics problems and investigating physical processes using computer modeling. The use of computer models in the study of physical phenomena and solving physics problems is particularly important.

Computer models play a key of role in explaining physical phenomena and solving physics problems. Depicting physical processes and phenomena using computer models is more effective than traditional methods.

Keywords: computer, physics, computer technology, physics problems, physical phenomena, student, computer programs, functions.

Маълумот дар бораи муаллиф: Нурализода Акмал Ғулом – директори Маркази технологияҳои иттилоотӣ ва коммуникатсионии вилояти Хатлон; Тел.: (+992) 906777888. E-mail: Safarov.akmal@inbox.ru

Олимӣ Ашуралӣ Рамазон – Донишгоҳи давлатии Данғара, н.и.ф.-м., д.и.п. **Суроға:** 734065, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 555-05-09-24. **E-mail:** olimov_19641@mail.ru.

Каримзода Аҳлиддин Назир – Донишгоҳи давлатии Данғара, омӯзгори калони кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 000-07-17-77. **E-mail:** ahliddin_151598@mail.ru

Сведения об авторе: Нурализода Акмал Гулом – директор Центра информационно-коммуникационных технологий Хатлонской области. Адрес: 735140, Республика Таджикистан, г. Бокhtar, ул. Борбад-13. Телефон: (+992) 906777888. E-mail: Safarov.akmal@inbox.ru

Олими Ашуралӣ Рамазон – Дангаринский государственный университет, к.ф.-м.н., д.п.н. **Адрес:** 734065, Республика Таджикистан, р. Данғара, ул. Маркази, д. 25. **Телефон:** (+992) 555-05-09-24. **E-mail:** olimov_19641@mail.ru.

Каримзода Аҳлиддин Назир – Дангаринский государственный университет, старший преподаватель кафедры информатики и цифровых технологий **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, р. Данғара, ул. Маркази, д. 25. **Телефон:** (+992) 000-07-17-77. **E-mail:** ahliddin_151598@mail.ru

About the author: Nuralizoda Akmal Gulom – Director of the Information and Communication Technologies Center of Khatlon Region. Address: 735140, Republic of Tajikistan, Bokhtar city, Borbad Street 13. Phone: (+992) 906777888. E-mail: Safarov.akmal@inbox.ru

Olimi Ashurali Ramazan – Dangara State University, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences. Address: 734065, Republic of Tajikistan, Dangara district, Markazi street, house 25. Phone: (+992) 555-05-09-24. E-mail: olimov_19641@mail.ru.

Karimzoda Ahliddin Nazir – Dangara state University, senior lecturer, Department of Informatics and telecommunications **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, r. Dangara, st. Markazi, 25. **Phone:** (+992) 000-07-17-77. **E-mail:** ahliddin_151598@mail.ru

Муқарриз: Набиев Ҷ.Ғ. – н.и.п., дотсенти кафедраи физика ва географияи ДДД

Мақола ба редакция ворид шуд: 09.01.2026

Аз тақриз баргашт: 10.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 02.03.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

Назруллозода А.С., Нейматов А., Баротов Н.И.

Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни
Дангаринский государственный университет

Теплопроводность относится к числу важных теплофизических характеристик полимерных растворов. Теплопроводность, с одной стороны, отражает важные эксплуатационные качества жидкостей, при использовании их в качестве носителей типа, хлорагентов, горючих, а также рабочего материала в других технологических процессах. С другой стороны, процесс передачи тепловой энергии тесно связано как с тепловым движением частиц жидкости, так, как и с характером взаимодействия между ними. В связи с этим исследование поведения теплопроводности в широкой области изменения параметров состояния и других влияющих на свойства жидкостей факторов представляет большой интерес. Исходя из этого изучению теплофизических свойств исследуемых жидкостей (бензол, дихлорэтан, ксилол, бромформ) вообще, и их теплопроводности, в том числе посвящено много работ [1, с. 166-169].

В этой работе представлены результаты исследования теплопроводности растворов полимеров (этилен + бензол, полистирол + этилбензол) ТВ зависимости от концентрации, при двух значениях температуры (150°C и 200°C).

С целью выяснения закономерностей поведения теплопроводности разбавленного и умеренно концентрированного растворов полистирола с молекулярной массой $6,6 \cdot 10^4 - 1500 \cdot 10^4$ с массой концентрацией $0,2 - 1,0$ г/дл в бензоле, дихлорэтано, ксилоле, бромформе были проведены измерения значения коэффициента теплопроводности.

Измерения проводились с применением метода цилиндрического бикалориметра в широком диапазоне изменения температуры ($273 - 700$) К и давления ($0,98 \cdot 10^5 - 490 \cdot 10^5$) Па [2, с.335-340, 3, с.77, 4, с. 76-84, 5, с. 66-74, 6, 560с., 7, с. 347-373, 8, 256с., 9, с. 3-7].

Результаты измерения зависимости коэффициента теплопроводности раствора полистирола ($M = 2,3 \cdot 10^6$) в бензоле при различных значениях давлений ($0,098$; $4,9$; $9,8$; $19,6$; $29,4$; $39,2$; и $49,0$ Мпа) для различной концентрации полистирола в бензоле представлены на рисунке 1 – 3.

Согласно вышеприведенным результатам происходит уменьшение значения коэффициента теплопроводности растворов полистирола с ростом температуры и увеличение его с ростом давления. Это вполне соответствует

характерному поведению коэффициента теплопроводности жидкостей. Вместе с тем на графике зависимости λ от температуры имеется область, где характер температурной зависимости нарушается, появляется закономерность, не характерная для чистой жидкости (растворителя). В дальнейшем будем называть эту область – областью «аномальной» зависимости.

Появление этой «аномальной» области на кривых λ (Т) обусловлено, видимо, влиянием наличия макромолекул полистирола в бензоле, взаимодействием молекулы растворителя с макромолекулами полистирола. С увеличением концентрации проявление «аномальной» области становится более заметным и резким.

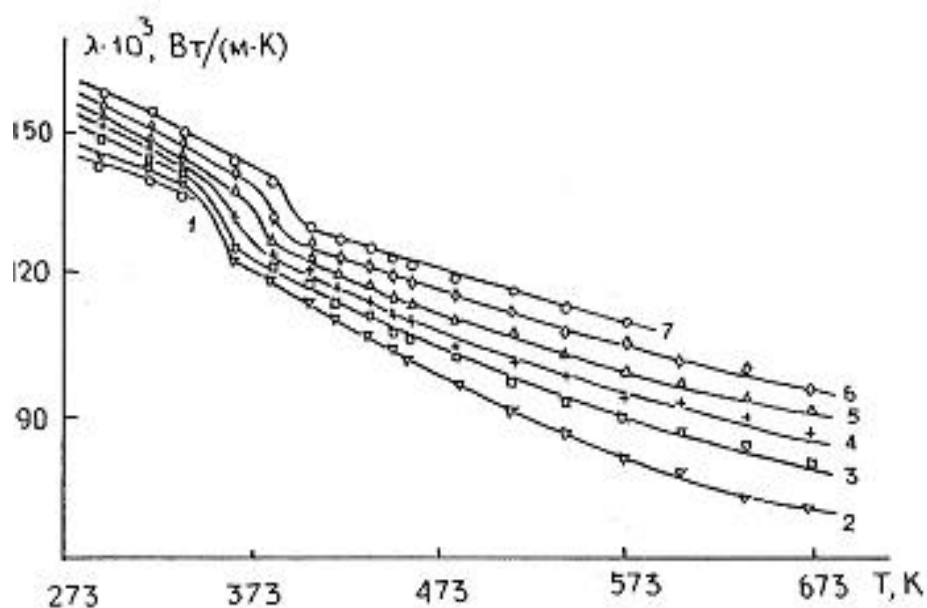


Рисунок 1. Теплопроводность раствора ПС в бензоле для концентрации 0,2 г/дл в зависимости от температуры при $P, 10^5$ Па: 1 – 0,98; 2 – 49; 3 – 98; 4 – 196; 5 – 294; 6 – 392; 7 – 490.

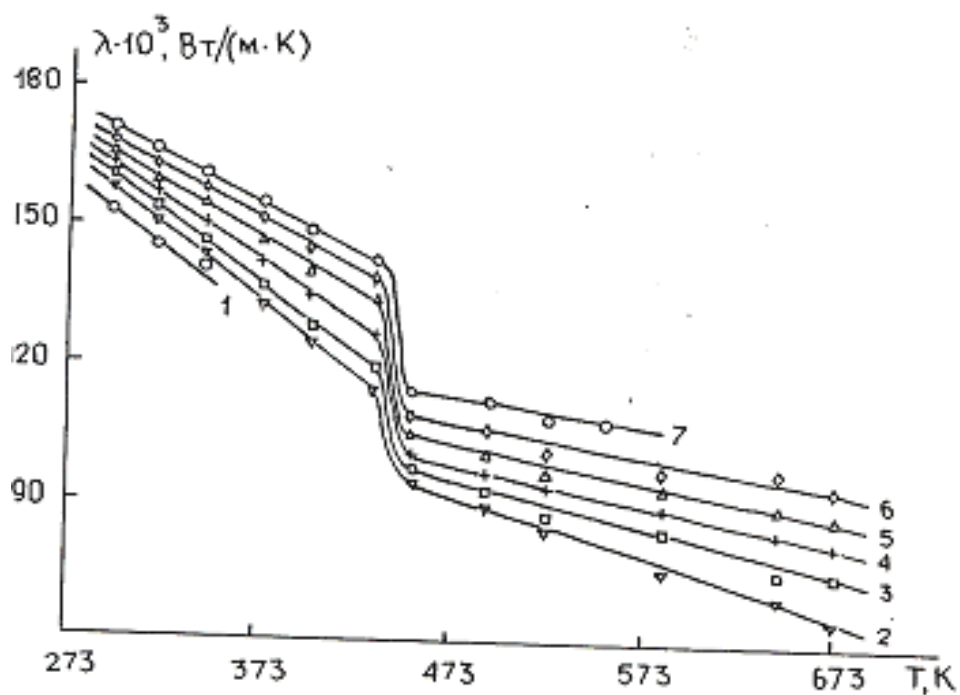


Рисунок 2. Теплопроводность раствора ПС в бензоле для концентрации 0,4 г/дл в зависимости от температуры при $P, 10^5$ Па: 1 – 0,98; 2 – 49; 3 – 98; 4 – 196; 5 – 294; 6 – 392; 7 – 490.

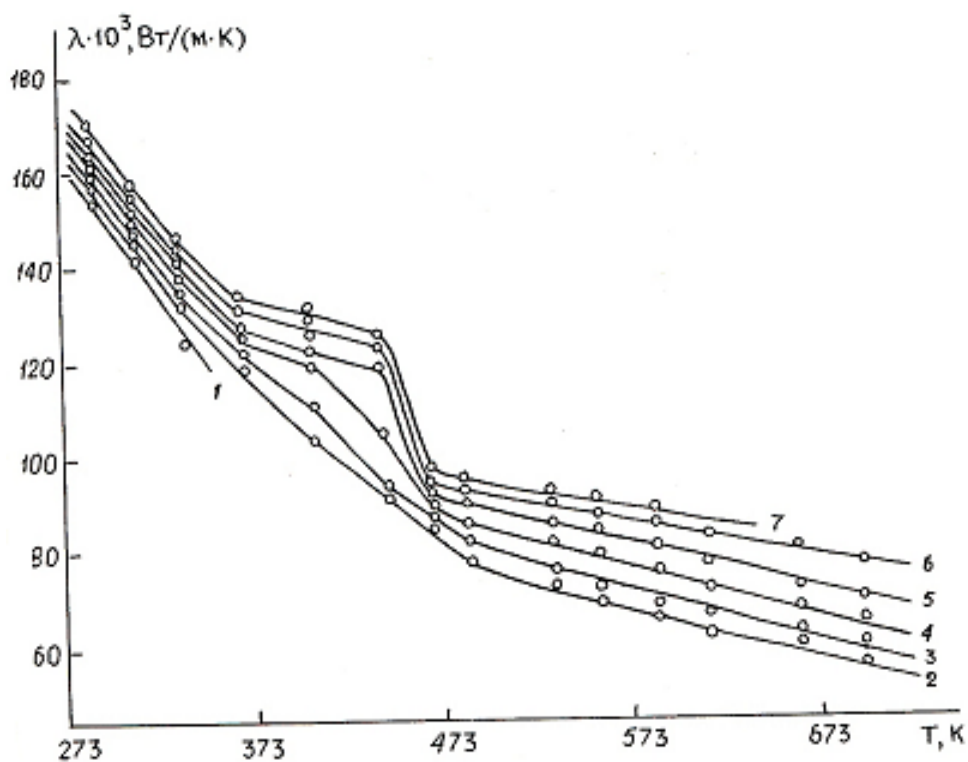


Рисунок 3. Теплопроводность раствора ПС в бензоле для концентрации 0,6 г/дл в зависимости от температуры при $P, 10^5$ Па: 1 – 0,98; 2 – 49; 3 – 98; 4 – 196; 5 – 294; 6 – 392; 7 – 490.

Таблица 1.

Теплопроводность раствора с концентрацией 0,2 г/дл ($M=2,3 \cdot 10^6$) в бензоле в зависимости от температуры и давления $\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

$P, 10^5 \text{ Па}$							
Т, К	0,98	49	98	196	294	392	490
294,3	143	144	148	151	153	155	157
313,6	140	142	144	146	148	151	155
334,7	137	139	140	142	144	145	149
364,2	-	122	125	132	138	142	146
382,2	-	119	122	124	127	131	140
400,8	-	114	118	120	123	126	130
416,7	-	111	114	117	120	124	128
434,5	-	107	111	114	118	122	126
448,9	-	104	108	111	115	120	123
455,9	-	102	106	110	114	119	120
485,5	-	96	102	103	111	116	118
513,1	-	90	97	101	108	113	117
541,9	-	86	93	98	103	108	113
572,9	-	81	90	94	99	105	110
603,9	-	78	87	93	97	102	-
637,9	-	73	84	90	94	100	-
673,2	-	70	80	86	92	96	-

Таблица 2.

Теплопроводность раствора с концентрацией 0,4 г/дл ($M=2,3 \cdot 10^6$) в бензоле в зависимости от температуры и давления $\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

$P, 10^5 \text{ Па}$							
Т, К	0,98	49	98	196	294	392	490
292,6	154	159	162	164	166	168	171
319,5	146	152	154	157	160	163	166
345,4	142	144	147	151	155	159	161
375,5	-	134	138	143	147	152	156
403,3	-	125	128	136	140	146	150
434,5	-	116	122	128	135	140	143
465,9	-	95	98	101	105	109	116
493,4	-	89	91	96	98	104	110
524,1	-	85	89	96	98	105	110
553,1	-	82	88	92	97	102	109
585,3	-	76	87	90	95	100	-
613,4	-	74	83	87	93	99	-
643,6	-	70	78	86	91	98	-
672,8	-	65	76	83	89	95	-

Таблица 3.

Теплопроводность раствора с концентрацией 0,6 г/дл ($M=2,3 \cdot 10^6$) в бензоле в зависимости от температуры и давления $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)

$P, 10^5$ Па		49					
Т, К	0,98	48-?	98	196	294	392	490
293,1	153	155	157	158	161	167	169
313,8	140	144	146	148	151	153	156
338,4	124	131	134	137	140	143	145
377,7	-	118	120	124	126	130	133
411,1	-	102	110	120	122	128	130
446,1	-	90	93	103	120	122	125
463,1	-	83	87	89	92	94	96
488,3	-	78	82	86	90	93	94
535,4	-	71	76	81	86	89	92
557,1	-	68	72	80	85	89	92
588,4	-	65	70	75	81	86	89
615,2	-	62	67	72	78	85	-
666,4	-	60	63	68	74	82	-
697,9	-	56	61	66	71	79	-

Таблица 4.

Теплопроводность раствора с концентрацией 0,8 г/дл ПС ($M=2,3 \cdot 10^6$) в бензоле в зависимости от температуры и давления $\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)

$P, 10^5$ Па		49					
Т, К	0,98	49	98	196	294	392	490
295,1	150	153	154	158	160	163	165
330,8	137	141	143	147	154	156	158
372,7	-	115	120	123	127	130	134
402,7	-	99	105	107	112	117	120
429,7	-	96	98	103	108	114	116
451,4	-	93	95	100	106	111	114
485,0	-	89	93	97	105	108	111
530,2	-	77	80	86	92	98	103
574,6	-	62	66	73	73	80	86
620,6	-	53	59	63	63	71	77
673,6	-	45	49	54	54	60	66
694,3	-	44	47	51	51	56	61

Таблица 5.

Теплопроводность раствора с концентрацией 1,0 г/дл ПС ($M=2,3 \cdot 10^6$) в бензоле в зависимости от температуры и давления $\lambda \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

$P, 10^5 \text{ Па}$							
T, К	0,98	49	98	196	294	392	490
302,4	147	151	154	156	160	163	166
319,7	141	146	148	152	156	159	163
349,3	-	135	140	144	148	153	157
389,8	-	119	125	132	135	143	148
429,3	-	85	94	100	103	114	117
464,6	-	78	86	92	100	110	114
511,4	-	67	77	89	98	102	112
561,1	-	58	67	81	94	104	-
597,9	-	56	63	76	82	96	-
645,3	-	47	58	69	77	86	-
674,1	-	43	53	65	72	79	-

С ростом давления «аномальная» область смещается в сторону более высоких температур. Итак, влияние концентрации макромолекул полимера существенно до концентрации 0,4 – 0,5 г/дл, дальнейший рост концентрации слабо влияет на поведение теплофизических параметров раствора полистирола.

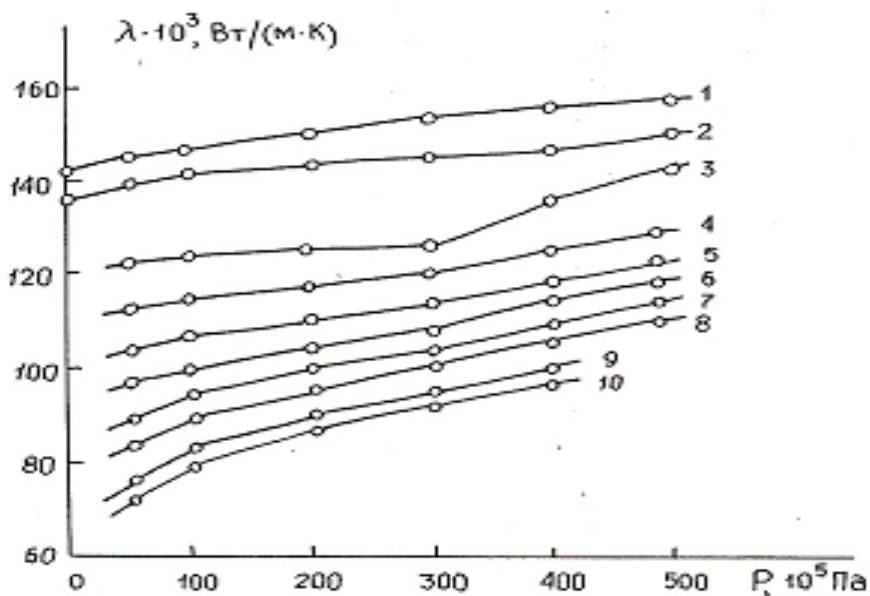


Рисунок 4. Теплопроводность раствора ПС в бензоле для концентрации 0,2 г/дл в зависимости от давления при: 1 – 293 К; 2 – 333 К; 3 – 373 К; 4 – 413 К; 5 – 453 К; 6 – 493 К; 7 – 533 К; 8 – 573 К; 9 – 963 К; 10 – 653 К.

Характер температурной зависимости λ и её «аномалии» для всех растворителей является весьма похоже. Вместе с тем в приведённых таблицах и рисунках можно заметить и влияние природы растворителя на поведение λ (Т). С увеличением молярной массы растворителя «аномальная» область λ (Т) смещается в сторону высоких температур.

Более широкая и значительная «аномальная» область наблюдается для растворителя бромформа, который имеет большую молярную массу. У бензола, который обладает меньшей молярной массой, эта область (при такой же концентрации) значительно уже и резче. На рисунке 4 приведены графики зависимости теплопроводности раствора полистирола в бензоле от давления при различных значениях температуры и концентрации.

Почти на всех графиках наблюдается слабый, плавный и близкой к линейной зависимости рост коэффициента теплопроводности с увеличением давления раствора.

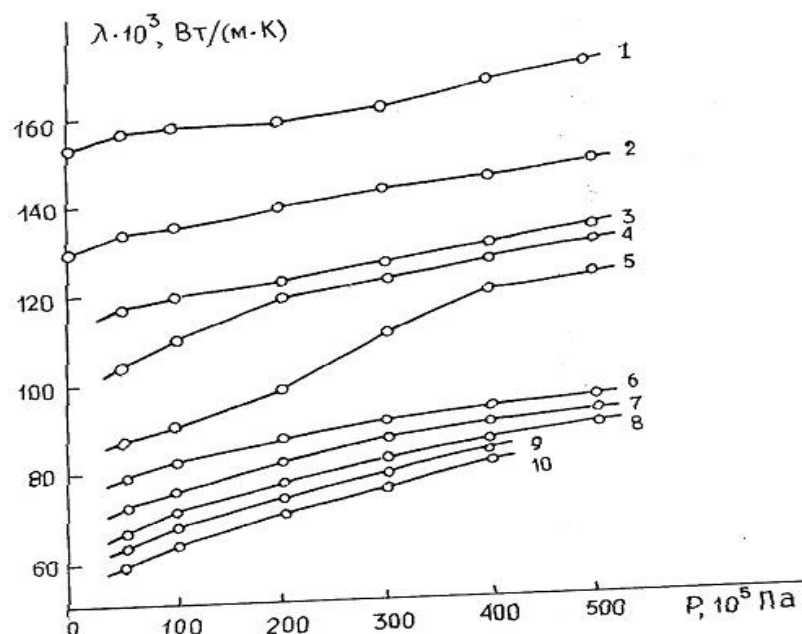


Рисунок 5. Теплопроводность раствора ПС в бензоле для концентрации 0,4 г/дл в зависимости от давления при: 1 – 293 К; 2 – 333 К; 3 – 373 К; 4 – 413 К; 5 – 453 К; 6 – 493 К; 7 – 533 К; 8 – 573 К; 9 – 613 К; 10 – 653 К.

Только при высоких значениях температур и низких давлений для концентрации 0,2 – 0,4 г/дл более заметны отклонения от линейной зависимости. С ростом концентрации (см. рис.4) эти характерные участки графика, с более заметным отклонением от закона линейной зависимости λ (P), смещаются в сторону более низкого значения температур.

Фактически, область «аномальной» зависимости в кривых λ (P) не наблюдается. Только в кривых при T = 373 К; C = 0,2 г/дл и T = 453 К; C = 0,4 г/дл и C = 0,6 г/дл наблюдается отклонение как на рисунке 5 от линейной зависимости.

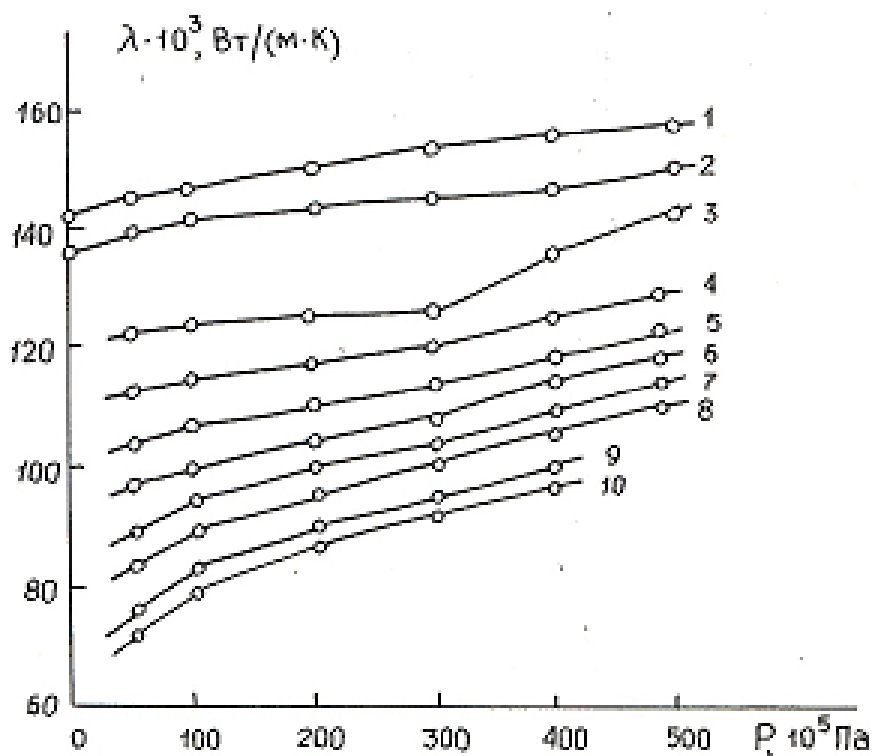


Рисунок 6. Теплопроводность раствора ПС в бензоле для концентрации 0,6 г/дл в зависимости от давления при: 1 – 293 К; 2 – 333 К; 3 – 373 К; 4 – 413 К; 5 – 453 К; 6 – 493 К; 7 – 533 К; 8 – 573 К; 9 – 963 К; 10 – 653 К.

Такие же закономерности $\lambda(P)$ наблюдается для растворителей дихлорэтан, ксилол, бромформ при концентрации полистирола $C = 0,4$ г/дл. Увеличение коэффициента теплопроводности с ростом давления – это характерная черта жидкостей. С ростом давления уплотняется упаковка молекул и «усиливается» упругая связь между молекулами, что способствует росту передачи тепловой энергии. Заметные «аномалии» в кривых $\lambda(P)$ наблюдается при тех значениях температур при которых, как было сказано, тепловая энергия молекул раствора становится сравнимой с энергией активации макромолекул полимера.

Литература

1. Давлатов Н.Б. Компьютерное моделирование химических и фазовых равновесий в системах с неидеальными растворами/ М.М. Сафаров, Х.Х. Назаров, М.А. Зарипова, Н.Б. Давлатов, А.С. Назруллоев, Нейматов А., М.М. Гуломов, С.Г. Ризоев, З.Ш. Асомиддинов, Г.Н. Нейматов, М.Ф. Курбонов// Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал), Серия естественных наук, Душанбе, Сино, 2016, 1/4 (216), С.166-169.
2. Давлатов Н.Б. Плотность и уравнение состояния бинарных водных растворов (0,5N₂H₄+0,5H₂O) мол. / М.М. Сафаров, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова // Материалы 10 Международной теплофизической

школы, 3-8 октября 2016 г., “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий”. Душанбе-Тамбов, 2016.С.335-340.

3. *Safarov M.M., Zaripova M.A., Davlatov N.B., Nazrulloev A.S., Rizoiev S.G., Nematov A., Djuraev D.S., Turgunboev M.T., Tilloeva T.R., Rafiev S.S., Hakimov D.Sh., Gulomov M.M., Abdulloev M.A., Davlatov R.Dj.* Thermodynamic properties of nanofluids: dependence on temperature and pressure // Book of Abstracts of the 6th Rostock International Conference THERMAL-2017 “Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics”. Rostock: Institute of Technical Thermodynamics, University of Rostock (Germany), 17–18 July 2017. P. 77.
4. *Давлатов Н.Б.* Влияние некоторых наноамфотерных оксидов, Ag (99,99%) и фуллерена на изменение физико-химических свойств ракетных топлив (обзор-эксперимент) В сборнике: Актуальные проблемы науки/ *М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, И.Б. Маниш, Т.Р. Тиллоева, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова* // Материалы I Всероссийской (заочной) научно-практической конференции (с международным участием). под общей редакцией А.И. Вострецова. 2014. С. 76-84.
5. *Буравой, С.Е., Платунов Е.С., Курепин В.В.* Перспективы исследования теплофизических свойств методами монотонного режима// Материалы 5 Международной теплофизической школы.20-24 сентября 2004г.Часть 1. Тамбов, Изд. ТГТУ.С.66-74.
6. Прикладная физика: Теплообмен в приборостроении /*Г.М. Кондратьев, Г.Н.Дульнев, Е.С.Платунов, Н.А. Ярышев* -СПб.: СПбГУ ИТМО, 2003.-560 с.
7. *Platunov E.S.* Instruments for Measuring Thermal Conductivity, Thermal diffusivity, and Specific Heat under Monotonic Heating / *E.S.Platuron* //Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods. Vol.2. Recommended Measurement Techniques and Practices, Plenum Press. New York and Lon-don.1992.-P.347-373.
8. *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.
9. *Зарипова, М.А.* Методы расчета теплоемкости углеводородов и их производных, основанных на модельных представлениях и методах подобия / *М.М. Сафаров, Ш.Т. Юсупов, М.А. Зарипова* // Вестник Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими. – Душанбе, 2009, №5. -с. 3-7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

Аннотация. В теплофизике изучение теплопроводности и определение свойств полимерных растворов, а также анализ влияния температуры на физические величины в различных условиях, особенно для жидкого состояния соединений этого типа, являются одними из главных задач.

В данной статье представлены данные результатов исследования теплопроводности полимерных растворов в зависимости от их концентрации при двух значениях температуры на образцах этилена и бензола, полистирола и этилбензола, исследованных в эксперименте.

Измерения проводились цилиндрическим бикалориметрическим методом в широком диапазоне температур (273-700 К) и давлений (2-12 Па). На основе эксперимента графически представлены результаты измерений и расчетов величин в таблицах, а также коэффициент теплопроводности раствора полистирола в бензоле при различных концентрациях и давлениях (0,098; 4,9; 9,8; 19,6; 29,4; 39,2 и 49,0 МПа).

Экспериментально подтвержденные результаты и теоретические расчеты показали, что коэффициент теплопроводности раствора полистирола зависит от давления и температуры, и этот коэффициент уменьшается с повышением температуры и давления.

Ключевые слова: теплопроводность, концентрация, давление, температура, раствор, жидкость, этилен, бензол, полистирол, этилбензол, аномальное увеличение, эффект, зависимость.

ОМУЗИШИ ГАРМИГУЗАРОНИИ МАҲЛУЛҲОИ ПОЛИМЕРӢ ҲАНГОМИ ТАҒЙИРӢБИИ ҲАРОРАТ ВА ФИШОР

Фишурда. Дар физикаи гармо омӯзиши зареби гармигузаронӣ ва муайян намудани хосиятҳои маҳлулҳои полимерӣ, инчунин таҳлили таъсири ҳароратӣ ба бузургиҳои физикӣ дар шароитҳои гуногун, махсусан барои ҳолати моеъгии ин намуди пайвастагиҳо яке аз масъалаҳои асосӣ ба шумор меравад.

Дар мақолаи мазкур маълумот аз натиҷаҳои тадқиқот оид ба гармигузаронии маҳлулҳои полимерӣ вобаста ба консентратсияи ҳангоми ду нишондодӣ ҳароратӣ дар намунаҳои этилен ва бензол, полистирол ва этилбензол, ки дар таҷриба санҷида шудааст, оварда шудааст.

Ченкунҳо бо истифода аз усули бикалориметрии цилиндрий дар доираи васеи ҳарорат (273-700К) ва фишор (2-12 Па) гузаронида шудааст. Дар асоси таҷриба, натиҷаҳои ченкунӣ ва ҳисобкунӣҳои бузургиҳо дар ҷадвалҳо ва зареби гармигузаронии маҳлули полистирол дар бензол ҳангоми концентрация ва фишорҳои гуногун (0,098; 4,9; 9,8; 19,6; 29,4; 39,2 ва 49,0 МПа) графикӣ нишон дода шудааст.

Натиҷаҳои дар асоси таҷриба санҷидашуда ва ҳисобкунӣҳои назариявӣ нишон доданд, ки зареби гармигузаронии маҳлули полистирол аз фишор ва ҳарорат вобаста буда, бо афзоиши ҳарорат ва фишор ин зареб кам мешавад.

Калидвожаҳо: гармигузаронӣ, концентратсия, фишор, ҳарорат, маҳлул, моеъ, этилен, бензол, полистирол, этилбензол, аномалӣ, баландшавӣ, таъсир, вобастагӣ.

INVESTIGATION OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF POLYMER SOLUTIONS UNDER VARIATIONS OF TEMPERATURE AND PRESSURE

Annotation. In thermal physics, the study of thermal conductivity and determination of the properties of polymer solutions, as well as the analysis of the effect of temperature on physical quantities under various conditions, especially for the liquid state of compounds of this type, are among the main tasks.

This article presents the results of a study of the thermal conductivity of polymer solutions depending on their concentration at two temperature values on samples of ethylene and benzene, polystyrene and ethylbenzene, studied in the experiment.

The measurements were carried out using the cylindrical bicalorimetric method in a wide range of temperatures (273-700 K) and pressures (2-12 Pa). Based on the experiment, the results of measurements and calculations of the quantities are graphically presented in tables, as well as the thermal conductivity coefficient of a polystyrene solution in benzene at various concentrations and pressures (0.098; 4.9; 9.8; 19.6; 29.4; 39.2 and 49.0 MPa).

Experimentally confirmed results and theoretical calculations have shown that the thermal conductivity coefficient of polystyrene solution depends on pressure and temperature, and this coefficient decreases with increasing temperature and pressure.

Keywords: thermal conductivity, concentration, pressure, temperature, solution, liquid, ethylene, gasoline, polystyrene, ethylbenzene, anomalous increase, effect, dependence.

Информация об авторах: Назруллода А.С. - Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, доцент кафедры экспериментальной физики. Адрес: 734003, Республика Таджикистан, город Душанбе, район И. Сомони, проспект Рудаки 121. Телефон: (+992) 918 42 91 13. E-mail: abdukodir70@mail.ru.

Неъматов А. - Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, доцент кафедры общей физики. Адрес: 734003, Республика Таджикистан, город Душанбе, район И. Сомони, проспект Рудаки 121. Телефон: (+992) 933 60 97 60;

Баротов Намозкул Иноятович – к.х.н., преподаватель кафедры физики и географии Дангаринского государственного университета. Адрес: 735320, Республика Таджикистан, Хатлонская область, Дангаринский район, ул. Маркази, 25. Тел.: (+992) 918-51-20-40; (+992) 938-25-69-69. E-mail: namozali.barotov@mail.ru.

Маълумот дар бораи муаллифон: Назруллода А.С. - Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣ Тоҷикистон ба номи С. Айни, дотсент, мудири кафедраи физикаи эксперименталӣ. Суроға: 734003, Ҷумҳурии Тоҷикистон, шаҳри Душанбе, ноҳияи И. Сомонӣ, хиёбони Рӯдакӣ 121. Телефон: (+992) 918 42 91 13. E-mail: abdukodir-70@mail.ru.

Неъматов А. - Донишгоҳи давлатии омӯзгори Тоҷикистон ба номи С. Айнӣ, дотсенти кафедраи физикаи умумӣ. **Суроға:** 734003, Ҷумҳурии Тоҷикистон, шаҳри Душанбе, ноҳияи И. Сомонӣ, хиёбони Рӯдакӣ 121. Телефон: (+992) 933 60 97 60;

Баротов Намозкул Иноятович – н.и.х., омӯзгори кафедраи физика ва географияи Донишгоҳи давлатии Данғара. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, вилояти Хатлон, ноҳияи Данғара, куч. Марказӣ, 25. Тел.: (+992)918-51-20-40; (+992)938-25-69-69. **E-mail:** namozali.barotov@mail.ru.

About the Authors: Nazrullozoda A.S. - Tajik State Pedagogical University named after S. Aini, Associate Professor, Head of the Department of Experimental Physics. **Address:** 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, I. Somoni District, Rudaki Avenue, 121. Phone: (+992) 918 42 91 13. E-mail: abdukodir-70@mail.ru.

Nematov A. - Tajik State Pedagogical University named after S. Aini, Associate Professor, Head of the Department of Experimental Physics. **Address:** 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, I. Somoni District, Rudaki Avenue, 121. Phone: (+992) 933 60 97 60;

Barotov Namozkul Inoyatovich – candidate of chemical sciences, lecturer of the Department of Physics and Geography of Dangara State University. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, Khatlon region, Dangara district, Markazi, 25. Phone: (+992) 918-51-20-40; (+992) 938-25-69-69. **E-mail:** namozali.barotov@mail.ru.

Рецензент: Рачабов С.Ф. – к.х.н., и.о. дотцента
кафедры общей химии ДДД

Мақола ба редакция ворид шуд: 12.01.2026

Аз тақриз баргашт: 12.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 14.03.2026

НАУЧНО-ХИМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕСТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Рачабов Ш. Х., *Нурмадзода А. А., *Раҳмонов Э. Ш.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

*Донишгоҳи давлатии Данғара

Объём производства алюминия является наибольшим среди цветных металлов, и в развитие мировой экономики требует постоянного увеличения производства оксида алюминия для его получения.

Ежегодно во всех заводах по производству алюминия образуются миллионы тонн отходов, которые нарушая экологическую обстановку создают глобальную экологическую проблему. Поэтому нами было исследовано получение криолит-глиноземного концентрата (КГК) из шламовых отходов производства алюминия со спеканием углерода в его составе и получении вторичного КГК. В состав шламового отхода согласно химическим анализам содержится (мас%): Al_2O_3 – 10-18; С - 10; Na_3AlF_6 – 15-26; Na_2SO_4 – 5-14; Na_2CO_3 и $NaHCO_3$ – 0,8-1,2; Fe_2O_3 – 3-4; SiO_2 - 0,8-1,5; CaF_2 и MgF_2 – 0.6-0,8. Однако при производстве вторичного КГК иногда нарушается технологическая линия и образуется огромное количество отходов, которое богат фтором [1, с.33].

Сырьё, предназначенное для переработки в готовую продукцию, должно удовлетворять определённым требованиям. Это достигается комплексом операций, составляющих процесс подготовки и обогащения сырья. Методы подготовки и обогащения сырья зависят от его агрегатного состояния.

Подготовка твёрдого сырья включает измельчение, классификацию, сушку. Подготовка жидкого сырья заключается в его очистке от твёрдых и газообразных примесей. В качестве методов очистки от твёрдых примесей применяют отстаивание, фильтрование, центрифугирование. Газообразные примеси могут быть удалены нагревом или интенсивным механическим перемешиванием.

Газообразное сырьё подвергают предварительной очистке от жидких и твёрдых примесей. Для этого применяют методы, аналогичные методам очистки жидкого сырья от твёрдых примесей, а также очистку в электрофильтрах.

А также было исследовано получение глинозема водной обработкой твердого остатка после сернокислотного разложения. В твердом остатке, согласно протеканию химической реакции сернокислотного разложения, содержится (мас%): $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [2, с.107].

Поэтому для установления оптимальных условий извлечения солей сульфата алюминия из проб этих отходов был проведен цикл исследований по изучению зависимости степени извлечения водорастворимых солей от различных факторов: температуры, продолжительности процесса и отношения твердой фазы к жидкой. По водорастворимому сульфату алюминия рассчитывалась на степень извлечения глинозема. Результат проведенных опытов показал, что наиболее благоприятное условия при водной обработке тв., остатка являются: соотношении Т:Ж = 1:7, температуры $t = 95^\circ\text{C}$ и продолжительности времени $\tau = 30$ мин; который при этом степени извлечения водорастворимых сульфатных солей достигается до 93,8% [3, с.221].

Абсорбенты, применяемые в промышленности, оцениваются по следующим показателям: 1) абсорбционная емкость, т. е. растворимость извлекаемого компонента в поглотителе в зависимости от температуры и давления; 2) селективность, характеризуемая соотношением растворимостей разделяемых газов и скоростей их абсорбции; 3) минимальное давление паров во избежание загрязнения очищаемого газа парами абсорбента; 4) дешевизна; 5) отсутствие коррозирующего действия на аппаратуру.

В качестве абсорбентов применяют воду, растворы аммиака, едких и карбонатных щелочей, солей марганца, этаноламины, масла, суспензии гидроксида кальция, оксидов марганца и магния, сульфат магния и др. Очистная аппаратура аналогична уже рассмотренной аппаратуре мокрого улавливания аэрозолей.

Наиболее распространен насадочный скруббер, применяемый для очистки газов от диоксида серы, сероводорода, хлороводорода, хлора, оксида и диоксида углерода, фенолов и т. д. В насадочных скрубберах скорость массообменных процессов мала из-за малоинтенсивного гидродинамического режима этих реакторов, работающих при скорости газа $W_g = 0,02 - 0,7$ м/с. Объемы аппаратов поэтому велики и установки громоздки.

Для очистки выбросов от газообразных и парообразных примесей применяют и интенсивную массообменную аппаратуру — пенные аппараты, безнасадочный форсуночный абсорбер, скруббер Вентери, работающие при более высоких скоростях газа. Пенные абсорберы работают при $1-4$ м/с и обеспечивают сравнительно высокую скорость абсорбционно-десорбционных

процессов; их габариты в несколько раз меньше, чем насадочных скрубберов. При достаточном числе ступеней очистки (многополосный пенный аппарат) достигаются высокие показатели глубины очистки: для некоторых процессов до 99,9%. Особенно перспективны для очистки газов от аэрозолей и вредных газообразных примесей пенные аппараты со стабилизатором пенного слоя.

Они сравнительно просты по конструкции и работают в режиме высокой турбулентности при линейной скорости газа до 4—5 м/с. Примером безотходной абсорбционно-десорбционной циклической схемы может служить поглощение диоксида углерода из отходящих газов растворами моноэтаноламина с последующей регенерацией поглотителя при десорбции CO₂.

Выщелачивание – это метод извлечения ценных компонентов путём их растворения в воде, растворах кислот, щелочей, солей с окислителями или восстановителями, а также в органических растворителях. Методом выщелачивания извлекают из руд и концентратов цветные металлы, уран, золото, хлорид калия из сильвинита и др. Эти методы используются в промышленности сравнительно редко. Таким методом осуществляют выплавку серы (температура плавления 113°C) непосредственно из подземных залежей.

Таблица 1.

Сводная таблица изучения процесса водной обработки твердого остатка, образующегося после сернокислотного разложения с целью извлечения глинозема

Пробы	Условия водной обработки				Анализ основных компонентов			
	Температура t, °C	Время τ, мин.	Соотношение Т:Ж	В/ч в, %.	Al ₂ O ₃ в, г/л	Fe ₂ O ₃ в, г/л	Na ₂ SO ₄ в, г/л	Степень извлечения α-Al ₂ O ₃ в, %
1.	25	20	1:5	4,00	0,14	0,05	11,4	14,0
2.	75	20	1:5	25,5	0,89	0,15	7,80	87,0
3.	95	20	1:5	36,5	0,91	0,45	5,51	88,9
4.	95	30	1:5	36,0	0,74	0,16	10,1	72,3
5.	95	40	1:5	19,0	0,96	0,21	8,90	93,8
6.	95	60	1:5	36,5	0,95	0,39	5,12	93,4
7.	95	30	1:6	34,5	0,58	0,23	5,17	57,0
8.	95	30	1:7	32,0	0,96	0,11	5,47	93,8
9.	95	30	1:8	28,4	0,63	0,20	6,19	61,5
10.	95	30	1:7	36,6	0,96	0,32	5,47	93,8

Таблица 2.

Степень осаждения гидроксидов алюминия и железа при обработке раствора сульфата алюминия различными концентрациями р-р кальцинированной соды (объем раствора 100 мл)

№	Количество истрасходованного гидроксида натрия, мл	Концентрация, кальцинированной соды, г/экв	Масса выпав. смесь осадков алюминия и железа в г.	Степень осаждения гидроксида алюминия, %	Степень осаждения гидроксида железа, %
1	30	1	0,21	0,53	0,72
2	40	1	0,27	1,23	1,45
3	50	1	0,43	3,04	3,32
4	60	1	0,49	14,28	14,09
5	70	1	0,58	47,96	52,51
6	80	1	0,80	60,20	67,86
7	90	1	1,26	73,99	80,42
8	100	1	1,34	91,56	98,8
9	110	1	1,20	90,71	97,9
10	120	1	1,12	88,89	93,80
11	100	0,8	0,93	85,75	83,90
12	100	1,5	1,22	90,14	98,6

При увеличении расхода соды от 30 до 100 мл степень осаждения гидроксида железа изменяется от 0,72 до 98,8%, а гидроксид алюминия - от 0,53 до 91,56% при расходе раствора кальцинированной соды концентрацией 1 г/экв (табл.3, п.1-8). [4, с.3].

В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением концентрации соды степень осаждения гидроксидов железа достигает максимума, а содержание гидроксида алюминия снижается вследствие образования алюмината натрия.

Полученная смесь осадков гидроксида алюминия и железа высушивались при температуре 100-120°C до постоянной массы и подвергался выщелачиванию раствором гидроксида натрия различной концентрации и объемов с целью отделения алюминия от железа в виде алюминатного раствора.

А также было изучено условия извлечения алюминия в виде алюмината натрия из смеси осадков в зависимости от продолжительности процесса, температуры, объема и концентрации раствора щелочи результат, которое приведено в таблице 3 [5, с. 848].



Проведенные анализы доказывают, что рациональным условием степени перехода алюминия в раствор в виде алюмината натрия происходит при

следующих условиях: расход раствора щелочи – 30мл, концентрация NaOH 100г/л, температура 40°C и продолжительность 5минут, при этом степень извлечения алюминия из осадка в раствор составляет в пересчете на глинозем 96,1% (Табл.3).

Таблица 3.

Степень разделения глинозема из смеси осадков гидроксид алюминия и железа обработкой гидроксидом натрия

№ Опытов	Исходная масса смесь осадков	Объем израсходован. раств. NaOH, мл	Конц. NaOH, г/л	Темпера тура, °C	Время, мин.	Извлечения Al ₂ O ₃ %
1	1,3	10	100	ком	15	63,4
2	1,3	20	100	20	15	81,0
3	1,3	30	100	20	15	96,9
4	1,3	40	100	20	15	84,5
5	1,3	30	80	20	15	82,1
6	1,3	30	120	20	15	91,5
7	1,3	30	100	30	15	97,0
8	1,3	30	100	40	15	97,6
9	1,3	30	100	60	15	97,1
10	1,3	30	100	40	10	96,1
11	1,3	30	100	40	5	97,6

А также было изучено получения криолита из алюминатного раствора с концентрацией Al₂O₃ 21 г/л. Для проведения опытов брали по 100 мл алюминатного раствора. Результаты проведенных исследований приведено в нижеследующем таблице.

Таблица 4.

Варка криолита из алюминатного раствора

№ опытов	Время, Мин	Температура, °C	Масса осадка, г	Примечание
1	5	20	0,8	Из-за отсутствия кислотоупорного газорасходомера количественное определение HF невозможно
2	10	20	1,7	
3	15	20	2,6	
4	20	20	3,5	
5	25	20	3,3	
6	20	40	3,2	
7	20	60	2,5	

Результаты исследований позволят последовательно высвобождать шламовые поля предприятий алюминиевого производства, уменьшить расход

ценного сырья, снизить себестоимость производимого алюминия и улучшить экологическую обстановку [6, с.132].

Литература:

1. *Фатьянов А.В.* Состояние обогащения флюоритовых руд. / *Фатьянов А.В., Леонов С.Б., Каташин Л.В.* – М.: Цветметинформация, 1972. - 65 с.
2. *Черепанов К.А.* Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии. / *Черепанов К.А., Черныш Г.И., Динельт В.М., Сухарев Ю.И.* - М.: Металлургия, 1994. - 224 с.
3. *Зайцев В.А.* Производство фтористых соединений при переработке фосфатного сырья. / *Зайцев В.А., Новиков А.А., Родин В.И.* – М.: Химия, 1982. - 248 с.
4. *Раджабов Ш.Х.* Способ комплексной переработки твердых фторсодержащих отходов производства алюминия. / *Ш.О. Кабиров, Х.С. Сафиев, Н.М. Сирочов, Б.С.Азизов, Х.А. Мирпочаев, Д.Р. Рузиев, Н.П. Мухамедиев, Х.Э. Бобоев, Ш.Х. Раджабова* // Малый патент на изобретение №515 РТ. – Душанбе, 2012.
5. *Раджабов Ш.Х.* Технология получения криолита и фторида алюминия из глинозема-, фторсодержащих отходов производства алюминия. / *Х.Сафиев, Ш.О.Кабиров, Б.С.Азизов, Х.А. Мирпочаев, Д.Р. Рузиев, Х.Э. Бобоев, Ш.Х. Раджабов* // ДАН РТ. Т.54.- 2011.- №10.- С.845-850.
6. *Раджабов, Ш.Х.* Термодинамический анализ процесса сернокислотного разложения фтор- и глиноземсодержащих отходов производства алюминия. / *Ш.Х. Раджабов, Дж.Р. Рузиев, Х.Э. Бобоев, Б.С.Азизов, Х.Сафиев* // Вестник национального университета. Серия естественных наук. – г. Душанбе, 2012, №1/2(81), с.131-134.

НАУЧНО-ХИМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕСТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Аннотация. Для производства технической плавиковой кислоты обычно используют минерала флюорита (плавиковый шпат с содержанием CaF_2 не менее 92%). В последнее время в связи с увеличением спроса на фтористые соли запасы флюоритовой руды заметно истощаются. Кроме того, при производстве алюминия накапливаются ценные фторсодержащие отходы – шлам газоочистки, отработанная футеровка электролизеров и др., переработка

которых позволит снизить нагрузку на окружающую среду и увеличить эффективность производства алюминия за счет снижения платы за выбросы.

Результаты исследований позволят последовательно высвобождать шламовые поля предприятий алюминиевого производства, уменьшить расход ценного сырья, снизить себестоимость производимого алюминия и улучшить экологическую обстановку.

Ключевые слова: производства алюминия, флюорит, фторсодержащие отходы, кислотное разложение, плавиковая кислота, криолит-глиноземного концентрата (КГК), производства криолита и фторида алюминия.

АСОСНОККУНИИ ИЛМӢ-ХИМИЯВӢ ВА ТАҲИЯИ ТЕХНОЛОГИЯ БАРОИ КОРКАРДИ ПАРТОВҲОИ ИСТЕҲСОЛИ АЛЮМИНИЙ БО ИСТИФОДА АЗ АШӢИ ХОМИ МИНЕРАЛИИ МАҲАЛӢ

Фиишурда . Барои истеҳсоли кислотаи фториди техникӣ оддатан аз маъдани флюорит истифода мебаранд (шпати сахрой бо миқдори CaF_2 на кам аз 92%). Дар солҳои охир бо сабаби афзоиши талабот ба намакҳои фтордор ҳаҷми захираи ин ашӣи хом то рафт камшуда истодааст. Ғайр аз он зимни истеҳсоли алюминий дар корхонаи истеҳсоли он ихроҷи партовҳои фтордори пуларзиш ба монанди партови шламӣ, бутабандии дегҳои гудозиши алюминий ва ғайраҳо, афзуда истодаанд, ки бо дубора коркарди онҳо метавонад таъсиротро ба муҳити экологӣ паст намуда, арзиши аслии маҳсулотро низ паст созад.

Натиҷаи таҳқиқоти мо имкон медиҳад, ки зина ба зина майдонҳои партовӣ холи гашта, онҳо ба маҳсулоти дуҷумдараҷа табдил ёбанд ва арзиши аслии маҳсулоти алюминий паст гашта, ҳолати экологӣ низ беҳтар гардонида шавад.

Вожакалимаҳо: истеҳсоли алюминий, флюорит, партовҳои фтордор, таҷзияи кислотагӣ, кислотаи фторид, концентрати криолит-гилҳокӣ (ККГ), истеҳсоли криолит ва фториди алюминий.

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR CHEMICAL PROCESSING OF ALUMINUM PRODUCTION WASTE USING LOCAL MINERALS

Annotation. For the production of technical hydrofluoric acid, fluorite mineral (fluorspar with a CaF_2 content of at least 92%) is usually used. Recently, due to the increased demand for fluoride salts, fluorite ore reserves have been noticeably depleted. In addition, valuable fluorine-containing waste accumulates during aluminum production - gas cleaning sludge, spent lining of electrolyzers, etc., the processing of which will reduce the burden on the environment and increase the efficiency of aluminum production by reducing emissions fees.

The research results will allow for the consistent release of sludge fields at aluminum production enterprises, reduce the consumption of valuable raw materials, reduce the cost of aluminum production and improve the environmental situation.

Key words: aluminum production, fluorite, fluorine-containing waste, acid decomposition, hydrofluoric acid, cryolite-alumina concentrate (CAC), cryolite and aluminum fluoride production.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Раҷабов Шухрат Холмуродович* – н.и.х., дотсенти кафедраи технологияи истеҳсоли химиявии ДМТ. Суроға: 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рудақӣ, 17. Телефон: 555-22-11-85 E-mail: R.Shuhrat.Kh@mail.ru.

Нурмадзода Амирхон Амроҳон – ассистенти кафедраи химияи умумии Донишгоҳи давлатии Данғара. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон. 735320. Данғара кӯч. Совети-30, Телефон: 900-96-96-52; E mail: amirhonnurmazoda@gmail.com.

Раҳмонов Эмомалӣ Шарифович – ассистенти кафедраи химияи умумии Донишгоҳи давлатии Данғара. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон. Данғара кӯч. Совети-30, Телефон: 907-35-92-29; E mail: Emomali-2000@bk.ru

Сведения об авторах: *Раджабов Шухрат Холмуродович* – к.т.н., доцент кафедры технологии химического производства ТНУ. Адрес: 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. Телефон: 555-22-11-85, E-mail: R.Shuhrat.Kh@mail.ru.

Нурмадзода Амирхон Амроҳон – ассистент кафедры общей химии Дангаринского государственного университета. Адрес: Республика Таджикистан. 735320. Данғара, ул. Совети – 30, Телефон: 900-96-96-52; Email: amirhonnurmazoda@gmail.com.

Раҳмонов Эмомалӣ Шарифович – ассистент кафедры общей химии Дангаринского государственного университета. Адрес: Республика Таджикистан. Данғара, ул. Совети – 30, Телефон: 907-35-92-29; E mail: Emomali-2000@bk.ru

Radjabov Shukhrat Kholmurodovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of chemical production technology TNU. Address: 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. Phone: 555-22-11-85, E-mail: R.Shuhrat.Kh@mail.ru

Nurmazoda Amirkhon Amrokhon –Assistant of the Department of General Chemistry, Dangara State University. Address: Republic of Tajikistan. 735320. Dangara st. Sovety – 30. Phone: 900-96-96-52; E-mail: amirhonnurmazoda@gmail.com.

Rahmonov Emomali Sharifovich –Assistant of the Department of General Chemistry, Dangara State University. Address: Republic of Tajikistan. Dangara st. Sovety – 30. Phone: 907-35-92-29; E mail: Emomali-2000@bk.ru

Рецензент: **Олимзода Р.А.** – к.х.н., доцент кафедры общей химии Дангаринского государственного университета

Мақола ба редакция ворид шуд: 08.01.2026

Аз тақриз баргашт: 10.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 18.03.2026

КОМПЛЕКСҲОСИЛКУНИИ НУҚРА (I) БО АЛБЕНДАЗОЛ ДАР ҲАЛКУНАНДАИ ОРГАНИКӢ- ДМСО

Бойназарзода К.У., Ёрмамадова С.Г., *Раҷабов У.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

*Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи А.Сино

Ба сифати моддаҳои аввала ҳангоми синтези пайвастиҳои координатсионии нуқра (I) намакҳои дубора перекристаллизатсия шудаи Ag_2SO_4 ва $AgNO_3$ ва ба сифати лиганд бошад албендазол (х.т) истифода карда шуданд. Боз ҳалкунандаҳои органикӣ ва ғайриорганикӣ ба монанди этанол, ДМФА, ДМСО, эфир, кислотаи сулфат ва хлорид истифода карда шуданд. Намаки $NaNO_3$ ро бо ёрии маҳлули обии сер перекристаллизатсия намудем. Кислотаи нитрат тамғаи (хч) бе тозакунии пешакӣ истифода шуд.

Концентратсияи гидроксидаи натрий бо истифода аз усули титронии рост бо ёрии маҳлули 0.1 М кислотаи хлорид дар иштироки индикатори метили норинҷи муайян карда шуд. Маҳлули гидроксидаи натрийро бо ёрии кислотаи янтарат муайян намудем. Зарфҳои химиявие ки ҳангоми иҷрои корҳои таҷрибавӣ истифода карда шуданд, бо ёрии омехтаи хром, оби муқаттар шуста мешуданд. Омехтаи кислотагӣ ва хромӣ аз рӯи методикаи [1, с.160-165] тайёр карда шуданд.

Вобаста ба муҳити ҳалкунанда пайвастиҳои комплекси нуқра (I) бо албендазол хосиятҳои гуногун ҳам аз ҷиҳати сохт, устуворӣ ва қобилияти реаксионӣ фарқ мекунанд. Комплекси нуқра (I) бо албендазол дар муҳити уксусӣ ва диметилсулфоксидӣ омехта шуд. Муҳити кислотаи сирко ва ДМСО аз ҷиҳати табиат ва қувваи ҳамтаъсир бо иони металл фарқияти калон дорад. Аз таҳлили адабиётҳо [2, с.123; 3, с.60; 4, с.139] маълум гардид, ки муҳити кислотаи 6М сирко ин муҳити протонӣ ва турш мебошад. Дар ин муҳит иони Ag^+ қисман бо молекулаҳои кислотаи сирко ё аниони асетат (CH_3COO^-) таъсир намуда пайвастиҳои комплекси нисбатан сусттар ҳосил мекунанд. Мавҷудияти протонҳо боиси протонизасияи лиганд мегарданд ва қобилияти барои пайваст шудан бо нуқра суст мешавад. Раванди комплексошавӣ дар як ҳел ҳолатҳо аз ҳисоби атомҳои нитроген сурат мегирад, ки барои Ag^+ донорҳои нисбатан суст ба шумор мераванд. Барои ҳамин константаи устувории ин намуди комплексо нисбатан сустар мешаванд.

Аз ин лиҳоз комплексошавии нуқра (I) бо албендазол дар муҳити ДМСО омӯхта шуд. Чи хеле ки аз адабиётҳо маълум аст ДМСО як ҳалкунандаи қутбӣ ва донории қавӣ мебошад. Дар муҳити диметилсулфоксиди пайвастшавии ионҳои нуқра (I) бо албендазол раванди мураккаб аст, зеро ҳам албендазол ва

ҳам ДМСО метавонанд бо ионҳои нуқра пайваст шаванд. Ин рақобат аз он сабаб ба вуҷуд меояд, ки ҳам албендазол ва ҳам ДМСО дорои атомҳои мебошанд, ки метавонанд электроҳоро ба иони нуқра диҳанд. Молекулаи албендазол дорои якчандто атомҳои донорӣ мебошад аз ҷумла атоми сулфур дар гурӯҳи тиолӣ ва атоми нитрогени гурӯҳи пиридинӣ. Ин атомҳо мувофиқи қоидаи HSAB, ки оиди устувории пайвастагиҳои координатсионӣ мебошад, метавонад бо иони нуқра пайвасти комплексиро ба вуҷуд биёранд. Дар айни замон молекулаҳои ДМСО низ дорои атоми сулфур мебошанд, ки метавонанд бо иони нуқра пайвасти комплекси солватиро ҳосил кунанд. Раванди умумии реаксия чунин аст: $Ag^+ + mL + nDMSO \leftrightarrow [AgL_m(DMSO)_n]^+$

Мавҷудияти ин рақобат барои пайвастшавӣ боиси кам шудани миқдори ионҳои нуқра (I) дар маҳлул мегардад ки ба хосиятҳои потенциометрии система таъсири назаррас мерасонад. Потенсиали ченшавандаи электроди нуқра аз миқдори иони озоди нуқра (I) вобаста буда, он дар навбати худ аз тақсими иони нуқра байни шаклҳои пайвастшуда вобаста аст. Аз ин рӯ константаи устувории комплексҳои нуқра (I) бо албендазол шартӣ буда аз таркиби ҳалкунанда, консентрасияи ДМСО ва қувваи ионии маҳлул вобаста аст [5, с.118].

Аз ин сабаб дар қори мазкур омӯзиши комплексҳосилкунии нуқра (I) бо албендазол дар муҳити сусти кислотагӣ бо усули потенциометрӣ оварда шудааст. Бо усули титркунии рН–метрӣ константаи ионизасияи кислотагии албендазол муайян карда шуд, ки $pK_{\text{кислот}} = 12,89 \pm 0,07$ баробар буда, дар муҳити ишқорӣ ($pH=8,22$) бошад $pK_{\text{асос}} = 4,44 \pm 0,04$ баробар мебошад. Дар ҷадвали 1 натиҷаҳои константаи ионизасияи кислотагӣ ва ишқории албендазол оварда шудааст.

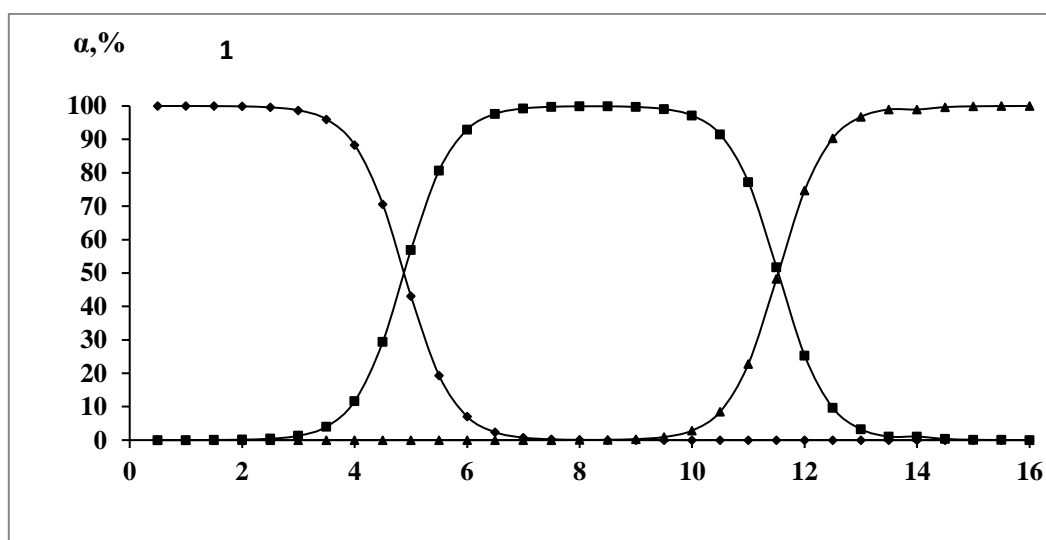
Ҷадвали 1.

Натиҷаҳои константаи ионизасияи кислотагӣ ва ишқории албендазол дар ҳарорати 298K, $C_{\text{албендазол}} = 1 \cdot 10^{-2}$ мол/л, $J=0,1$ мол/л ($NaNO_3$)

V, HCl	V, ум	pH	[HL]	[L]	pK ₁
0,1	0,1	6	0,00199601	0,000998	5,30103
0,1	0,2	5,25	0,00398406	0,000996	4,85206
0,1	0,3	4,9	0,00596421	0,000994	4,678151
0,4	0,7	4,83	0,001380671	0,000986	4,976128
0,2	0,9	4,66	0,001768173	0,000982	4,915273
0,1	1	4,55	0,001960784	0,00098	4,85103
0,1	1,1	4,42	0,002152642	0,000978	4,762423
0,1	1,2	4,41	0,00234375	0,000977	4,790211
0,1	1,3	4,38	0,002534113	0,000975	4,794973
V, NaOH	V, ум	pH	[HL]	[L]	pK ₂
0	0	8,24	0	0	

0,1	0,1	9,96	0,00199601	0,000998	9,26103
0,1	0,2	10,44	0,00398406	0,000996	10,04206
0,1	0,3	10,61	0,00596421	0,000994	10,38815
0,1	0,4	10,7	0,00793651	0,000992	10,60309
0,1	0,5	11,11	0,00990099	0,00099	11,11
0,1	0,6	11,31	0,001185771	0,000988	11,38918
0,1	0,7	11,44	0,001380671	0,000986	11,58613
0,1	0,8	11,57	0,001574803	0,000984	11,77412
0,1	0,9	11,62	0,001768173	0,000982	11,87527
0,1	1	11,66	0,001960784	0,00098	11,96103
0,1	1,1	11,72	0,002152642	0,000978	12,06242
0,1	1,2	11,79	0,00234375	0,000977	12,17021
0,1	1,3	11,83	0,002534113	0,000975	12,24497
0,1	1,4	11,87	0,002723735	0,000973	12,31716
0,1	1,5	11,93	0,002912621	0,000971	12,40712
0,1	1,6	11,93	0,003100775	0,000969	12,43515
0,1	1,7	11,93	0,003288201	0,000967	12,46148

Чи хеле ки аз диаграммаи тақсимоти албендазол дар муҳити ДМСО дида мешавад, (расми 1) албендазол дар ҳудуди васеи рН аз 0,5 то 2,5 дар шакли протонидашудаи Alb^+ қарор дорад. Дар фосилаи рН аз 4,0 то 10,0 албендазол дар намуди молекулаи нейтралӣ буда дар рН > 12,0 бошад аз ҳисоби атоми гидрогени пироллӣ ҷудошуда албендазол дар намуди аниои яъне Alb^- мешавад.



Расми 1. Диаграммаи тақсимиавии албендазол ва маъсули ионизасияи он дар муҳити ДСМО. Қаҷхаттаҳо: 1- Alb^+ ; 2- Alb^0 ; 3- Alb^-

Комплексҳосилкунии нуқра (I) бо албендазол дар муҳити ДМСО дар pH - 5,5 таҳқиқӣ карда шуд. Дар ин муҳит молекулаи албендазол пурра дар шакли молекулавӣ мавҷуд аст ва ҳангоми реаксияи комплексҳосилкунӣ бо иони нуқра (I) танҳо молекулаҳои нейтралӣ он иштирок мекунанд. Дар ҷадвали 2 натиҷаҳои тиркунии потенциометрӣ ва маълумотҳои дар асоси он ҳисобкардашуда барои системаи Ag-албендазол-ДМСО дар ҳарорати 288K оварда шудааст.

Ҷадвали 2.

Натиҷаҳои консентрасияи мувозанатии ионҳои нуқра (I) бо албендазол дар ҳарорати 298 K; $C_{\text{албендазол}}=1,05 \cdot 10^{-2}$ мол/л, $C_{\text{Ag}}=1 \cdot 10^{-3}$ мол/л, $J=0,1$ мол/л (NaNO_3)

E	ΔE	$[Cl^-]$	$Lg[Ag]_{\text{т}}/[Ag]=\frac{dE}{19,72}$	$[CAg]$	V
228	-	-	-	-	-
227	1,00	0,00007937	0,01690331	0,000099206349	
205	23,00	0,00027237	0,38877620	0,000097276265	-4,14393030
183	45,00	0,00053030	0,76064909	0,000094696970	-3,80326706
169	59,00	0,00084249	0,99729547	0,000091575092	-3,42739227
162	66,00	0,00100719	1,11561866	0,000089928058	-3,16891760
158	70,00	0,00119718	1,18323191	0,000088028169	-3,07514207
154	74,00	0,00137931	1,25084517	0,000086206897	-2,98603741
151	77,00	0,00155405	1,30155510	0,000084459459	-2,91486174
145	83,00	0,00172185	1,40297498	0,000082781457	-2,85587094
144	84,00	0,00190939	1,41987830	0,000080906149	-2,80608616
141	87,00	0,00211356	1,47058824	0,000078864353	-2,75603814
137	91,00	0,00230769	1,53820149	0,000076923077	-2,70748403
131	97,00	0,00249249	1,63962137	0,000075075075	-2,66588788
126	102,00	0,00266862	1,72413793	0,000073313783	-2,62971178
121	107,00	0,00305556	1,80865450	0,000069444444	-2,59777963
115	113,00	0,00324324	1,91007437	0,000067567568	-2,53479202
106	122,00	0,00394673	2,06220419	0,000060532688	-2,50727168
100	128,00	0,00429224	2,16362407	0,000057077626	-2,41717389

Чи хеле ки аз ҷадвал аён аст, бо илова кардани лиганд камшавии потенциали электродии система мушоҳида мешавад, ки ин нишонаи кам шудани шумораи ионҳои озоди нуқра мебошад, яъне ҳангоми ҳосилшавии пайвасти комплексӣ дар маҳлул шумораи ионҳои озоди нуқра кам мешавад.

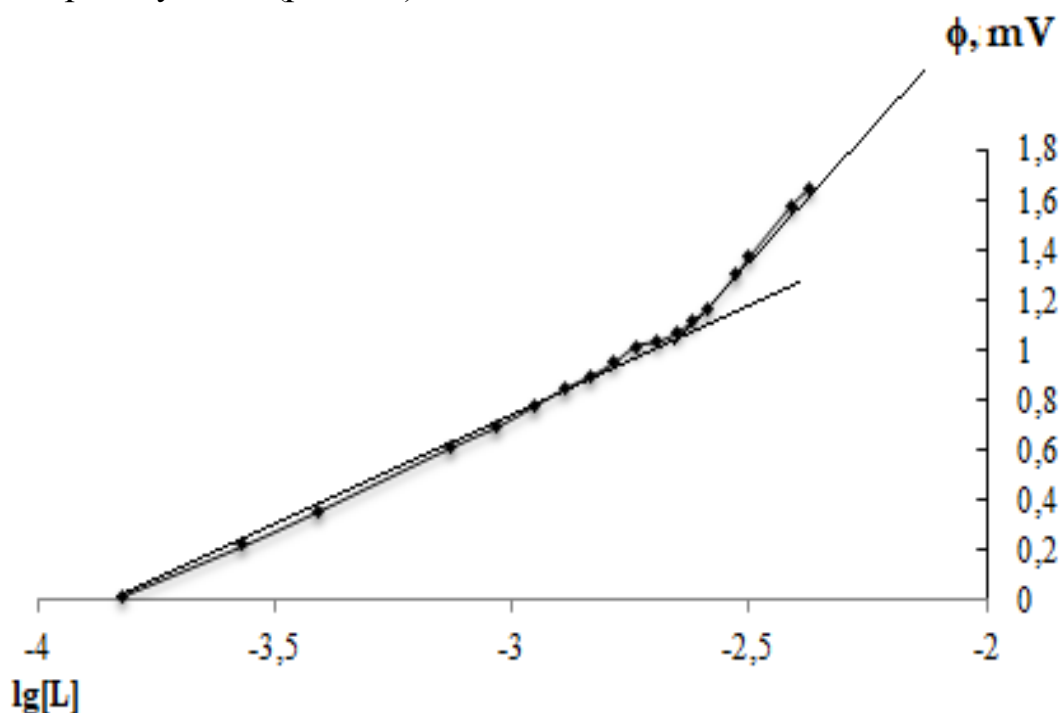
Камшавии консентрасияи ионҳои нуқра аз $9,9 \cdot 10^{-5}$ то $5,7 \cdot 10^{-5}$ мол/л тасдиқ мекунанд, ки қисми асосии ионҳои нуқра (I) ба дохили комплекс гузаштаанд. Қиматҳои манфии $lg[Ag]$ нишон медиҳанд, ки консентрасияи ионҳои озоди нуқра

дар маҳлул хеле паст буда, мувозанат ба самти ҳосилшавии пайвастагиҳои устувори комплекси равона аст.

Ҳамин тариқ натиҷаҳои ҷадвали 2 собит менамоянд, ки дар ҳарорати 298 К ва қувваи ионии 0,1 мол/л албендазол ҳамчун лиганди донорӣ бо ионҳои нуқра (I) қобилияти баланди комплексҳосилкуниро зоҳир мекунад. Натиҷаҳои ба даст омада дар ҳарорати маскур барои ҳисоб намудани константаҳои усутвори комплексо, таҳлили термодинамикӣ ва асоснокии механизми боҳамтаъсиркунии нуқра (I) бо албендазол истифода карда шуданд. Аз натиҷаҳои ҷадвали 16 бармеояд, ки бузургии ΔE ҳангоми титркунии портенсиометрӣ дар ҳарорати 298 К ба 100 мВ тағйир меёбад. Ин далели таврибавӣ ҳосилшавии заррачаҳои комплекси нуқра (I) –ро бо албендазол дар маҳлул нишон медиҳад.

Чи хеле ки аз ин ҷадвалҳо бармеояд, ҳангоми зиёд шудани консентрасияи лиганд фарқи энергияи потенциалӣ меафзояд, яъне ин нишонаи он аст, ки дар система потенциали оксидонӣ кам мешавад. Сабаби камшавии потенциали оксидонӣ дар он аст, ки дар системаи омӯхташаванда зарраҳои комплекси нуқра (I) бо албендазол ҳосил шудаанд.

Барои муайян намудани константаҳои умумии устувори комплексо аз усулҳои пешниҳодшудаи Фридман ва УҒКК (усулҳои ғайрихатии камтарини квадратӣ) истифода карда шуд. Мувофиқи усули Фридман вобастагиҳои $\lg\phi$ аз $\lg C_L$ гирифта шуд. Ин вобастагӣ характери ғайрихаттӣ дошта аз ду қитъаи росхатта иборат аст. Ҳангоми экстрополясия кардани ҳар як қитъаи рост ба мевҳари абссис қиматҳои константаи умумии устувори заррачаҳои комплекси муайян карда шудаанд (расми 2).



Расми 2. Вобастагии ΔE аз аз lgC_L барои комплексҳои нуқра (I) бо албендазол дар ҳарорати 298K ва қувваи иониш 0,1 мол/л

Барои муайян кардани константаи устувории пайвастиҳои комплекси нуқра (I) бо албендазол ҳамчунон аз барномаҳои компюторӣ бо истифода аз усулҳои квадрати камтарини ғайрихатии (НМНК) истифода карда шуд [6].

Константаи умумии устуворӣ бо усули камтарини ғайрихаттӣ муайян карда шуда натиҷаҳои миёнаи онҳо, ки бо ду роҳ ҳисоб карда шуда буданд, дар ҷадвали 3 оварда шудаанд.

Ҷадвали 3.

Константаҳои устувории пайвастиҳои комплекси нуқра (I) бо албендазол дар ҳарорати 298 K ва қувваи иониш 0,1 мол/л ($NaNO_3$)

Усулҳо	T, K	288K	298K	308K	318K
Фридман	$lg\beta_1$	4,12±0,02	3,49±0,03	3,42±0,015	3,19±0,02
	$lg\beta_2$	7,02±0,03	6,43±0,04	6,38±0,02	6,18±0,01
НМНК	$lg\beta_1$	4,12±0,02	3,97±0,02	3,42±0,015	3,03±0,03
	$lg\beta_2$	7,02±0,03	6,91±0,02	6,38±0,02	6,04±0,02
Бо ҳисоби миёна	$lg\beta_1$	4,12±0,02	3,73±0,025	3,42±0,015	3,11±0,025
	$lg\beta_2$	7,02±0,03	6,67±0,03	6,38±0,02	6,11±0,015

Тавре ки аз ҷадвал аён аст барои ҳисоби константаи устувории комплексҳо аз ду усули муосир истифода карда шуд. Натиҷаҳои ба дастмадаи ҳар ду усул бо ҳам хеле наздиканд, ки ин шабоҳати дурустии механизми реаксияҳо дорад. Боз агар ба ҷадвал назар андозем дида мешавад ки бо афзудани ҳарорат қиматҳои $lg\beta_1$ ва $lg\beta_2$ охира охира кам мешаванд, яъне устувории пайвасти комплекси нуқра бо албендазол бо зиёд шудани ҳарорат кам мешавад.

Адабиёт

- [1] *Карякин, Ю. В.* Чистые химические вещества. Ю.В. Карякин, И.И. Ангелов. – М.: Химия, 1974. – 209 с.
- [2]. Press, New York, N.Y., 1950. 6. P.Ray, D. Sen, Chemistry of Bi- and Tripositive Silver, National Institute of Sciences of India, 1960
- [3]. *Леглер, Е.В.* Исследование комплексообразования серебра(I) с трифункциональными аминокислотами: дис. канд. хим. наук. – Красноярск. -2001. –С.173.
- [4]. *Мудинов, Х.Г.* Комплексообразования серебра (I) с 1,2,4-триазолом в интервале температур 288-318K/ Сафармамадов, С.М // Вестник ТНУ. - 2015.- № 1/5(188) - С. 136-142.

- [5]. Ёрмамадова С.Г., Бойназарова К., Раджабов У.Р. Синтез и исследование серебра (I) с альбендазолом. Международный научно-практический журнал ENDLESS LIGHT in SCIENCE. DOI.0.2441/2709_2022_116_119. Алмата. Казакстан. 2022 стр.116-120.
- [6]. Содатдинова А.С, Сафармамадов С.М., Абдурахмонов Б.Ф. Комплексные соединения серебра с 1-метил-2-меркаптоимидазолом /. // Вест. Тадж. национального университета. Сер. естеств. наук. -2020.-№4. -С.198-207.

КОМПЛЕКСХОСИЛКУНИИ НУҚРА (I) БО АЛБЕНДАЗОЛ ДАР ҲАЛКУНАНДАИ ОРГАНИКӢ- ДМСО

Фиишурда. Дар кори додашуда оиди раванди комплексҳосилкунии нуқра (I) бо албендазол дар ҳалқунандаҳои органикуи аз ҷумла ДМСО оварда шудааст. Мақсади тадқиқот ин муайян кардани қонуниятҳои таъсири ионҳои нуқра бо албендазол, омехтани таркиб ва устувори пайвастагиҳои комплекси ҳосилшуда бо усули потенциометрӣ. Муайян карда шуд ки ионҳои нуқра (I) бо албендазол таввасути атомҳои донории сулфур ва нитроген бо ҳам координасия мешаванд.

Калидвожаҳо: нуқра (I), албендазол, ДМСО, комплексҳосилкуни, константаи устуворӣ, синтез.

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ СЕРЕБРА (I) С АЛБЕНДАЗОЛОМ В ОРГАНИЧЕСКОМ РАСТВОРИТЕЛЕ ДМСО

Аннотация. В данной работе описан процесс комплексообразования серебра (I) с альбендазолом в органических растворителях, в частности в ДМСО. Целью исследования является определение закономерностей взаимодействия ионов серебра с альбендазолом, изучение состава и устойчивости образующихся комплексных соединений потенциометрическим методом. Установлено, что ионы серебра (I) координируются с альбендазолом через донорные атомы серы и азота.

Ключевые слова: серебро (I), альбендазол, ДМСО, комплексообразование, константа устойчивости, синтез.

COMPLEX FORMATION OF SILVER (I) WITH ALBENDASOLE IN THE ORGANIC SOLVENT DMSO

Annotation. This paper describes the process of complex formation of silver (I) with albendazole in organic solvents, specifically in DMSO. The aim of the study is to determine the regularities of the interaction of silver ions with albendazole, and to study the composition and stability of the resulting complex compounds using the potentiometric method. It has been established that silver (I) ions coordinate with albendazole through donor sulfur and nitrogen atoms.

Keywords: silver (I), albendazole, DMSO, complex formation, stability constant, synthesis.

Маълумот дар бораи муаллифони

Бойназарзода Кибриё Усмон – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Суроға: 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. E-mail: bkibriy@mail.ru.

Ёрмамадова Саврибегим Гулмамадовна – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон Суроға: 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. E-mail: ermamadova2015@mail.ru.

Раҷабов Умаралӣ – Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон. Суроға: 734003, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 139. E-mail: umarali55@mail.ru.

Свидение об авторах

Бойназарзода Кибриё Усмон – Таджикский национальный университет. Адрес: 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. E-mail: bkibriy@mail.ru.

Ёрмамадова Саврибегим Гулмамадовна - Таджикский Национальный университет. Адрес: 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17. E-mail: ermamadova2015@mail.ru.

Раҷабов Умарали – Таджикский государственный медицинский Университет. Адрес: 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 139, E-mail: umarali55@mail.ru.

Information about authors

Boynazarzoda Kibriyo Usmon - Tajik National University. Address: 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki-17. E-mail: bkibriy@mail.ru.

Yormamadova Savribegim Gulmamadovna - Tajik National University. Address: 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Ave. 17. E-mail: ermamadova2015@mail.ru.

Radzhabov Umarali - Tajik State Medical University. Address: 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Ave. 139. E-mail: umarali55@mail.ru.

Рецензент: Садриддинзода С. – н.и.т., доцент,
Донишгоҳи давлатии Данғара

Мақола ба редакция ворид шуд: 10.01.2026

Аз тақриз баргашт: 04.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 16.03.2026

АСОСҲОИ ХИМИЯВӢ ВА КАТАЛИТИКИИ ИСТЕҲСОЛИ КИСЛОТАИ СУЛФАТ

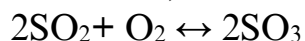
Сайдалиев Д.А, Раҳмонов Э.Ш.
Донишгоҳи давлатии Данғара

Марҳилаҳои ҳосилкунии кислотаи сулфат

Ҳамаи усулҳои саноатии синтези кислотаи сулфат аз чунин марҳилаҳо иборатанд:

а) Марҳилаи якуми раванд ин оксидкунии сулфур ва ҳосилкунии гази сухта ки дар таркибаш оксиди сулфур (SO_2) дорад. Вобаста аз намуди ашё реаксияҳои экзотермикии химиявии пухтан мегузаранд;

б) Дар марҳилаи дуюм реаксияи баргардандаи экзотермикии химиявии оксидшавии (конверсии) тамосии дуоксиди карбон дар ҳарорати 500°C (дар катализаторҳо Pt , V_2O_5 , Fe_2O_3):



в) Дар марҳилаи охири - абсорбсия (фурубари) триоксиди сулфур дар колоннаи абсорбсионии кислотаи сулфати сероб ҳал намуда вай оҳиста- оҳиста аввал концентронида, баъд беоб ва дар охир ба олеум мубаддал мешавад.

Ҳамин тариқ ҳангоми аз тарафи триоксиди сулфур ҷабидани кислотаи сулфат олеум ҳосил мешавад, ки пасон ҳангоми серобкунӣ кислотаи сулфатро ҳосил мекунад.



Дар истеҳсолот ба ин равандҳои химиявӣ боз равандҳои тайёр намудани ашё, тоза кардани газҳои печҳо ва дигар амалиётҳои физикӣ-химиявӣ низ илова карда мешаванд [6, с.85].

Усулҳои ҳосилкунии кислотаи сулфат

Дар саноат ду намуди ҳосилкунии кислотаи сулфат мавҷуд аст, ки аз ҳамдигар бо оксидкунии дуоксиди сулфур (SO_2) фарқ мекунад:

нитрозӣ – бо истифода аз оксидҳои нитроген, ки аз кислотаи нитрат ҳосил шудаанд,

тамосӣ – бо истифода аз катализаторҳои саҳт (тамосҳо) [4, с.43].

Усули нитрозӣ

Аҳмияти усули нитрозӣ дар он аст, ки гази сухташударо баъди хунуқшавӣ ва тозакунии аз ҷангҳо бо воситаи кислотаи сулфат коркард мекунад, ки дар он оксиди нитроген ҳал шуда пасон оксид мешавад:

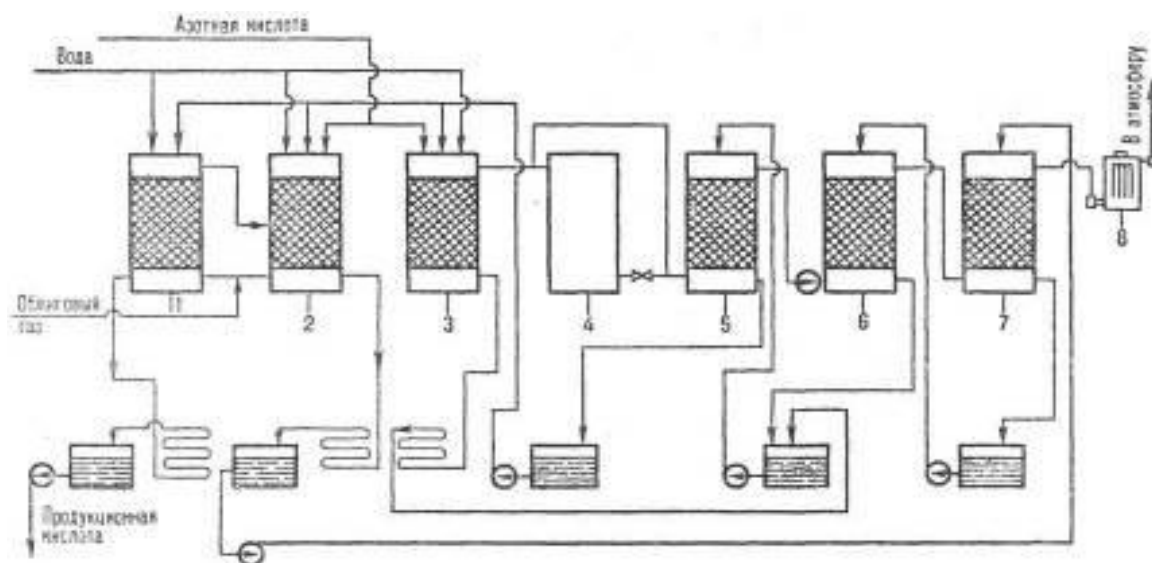


Гази NO - и ҳосилшуда дар нитроза нағз ҳал намешавад ва аз дохилаш хориҷ шуда мебарояд, пас аз он бо оксигени ҳаво дар фазаи гази то NO_2 оксид мешавад. Омехтаи NO ва NO_2 боз бо кислотаи сулфат

чабидда мешаванд. Оксиди нитроген дар раванди нитрозӣ сарф намешавад ва дар гардиши истехсолот боз гашта иштирок мекунад. Агар онҳо аз тарафи кислотаи сулфат нағз чабида нашаванд, бо ҳамроҳии газҳо баромада хориҷ мешаванд [4, с.68].

Ороиши таҷҳизоти раванди нитрозавӣ чунин намуд дорад: SO₂ дар башняҳои 7-8 футеровдор бо насадкаи керамик коркард карда мешаванд, яке аз башенҳо (полая) ҳаҷми оксидкунандаро идора мекунад. Манораҳо як қатор намуди кислотаҳо дошта инҳо яхдонҳо, насосҳо ки кислотаро ба бакҳои дар болои манора мавҷуд буда интиқол медиҳад, иборат аст. Дар пеши дуто манораи охирон шамолтиҳиякҳои думчадор монда шудаанд. Барои тоза кардани газ аз аэрозоли кислотаи сулфат электрофилтр хизмат мекунад. Оксидҳои нитроген барои ин намуди раванд хеле заруранд, ки онҳоро аз таркиби кислотаи нитрат ҳосил кардаанд. Барои он ки миқдори оксидҳои нитрогенро дар атмосфераи ҳаво кам шавад ва оксиди сулфури (IV) 100%-ро ташкил диҳад байни зонаҳои продуксионӣ ва абсорбсионӣ алқаи безнитрозии коркарди SO₂ ба роҳ монда мешавад [2, с.112].

(Расми 1).



Расми 1. Нақшаи истеҳсоли кислотаи сулфат бо усули нитрозӣ

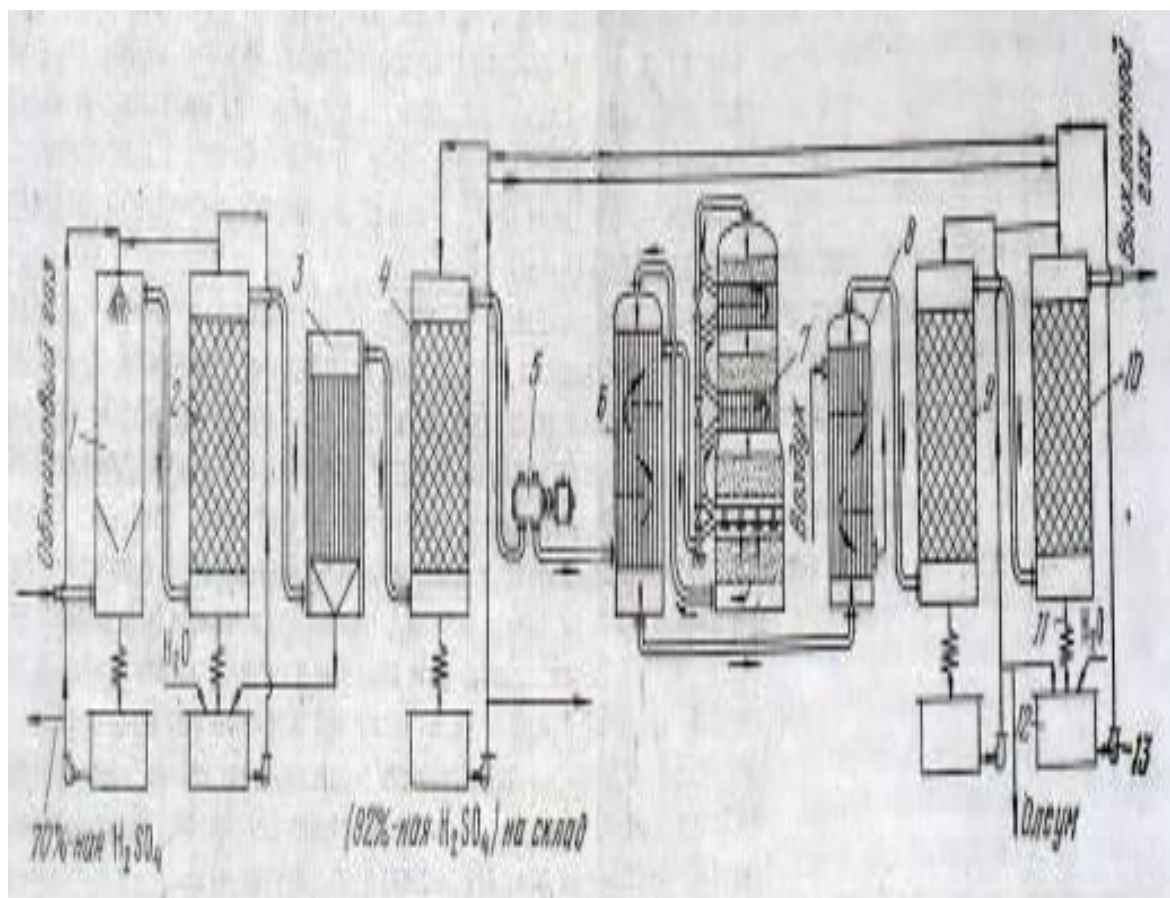
1- манораи денитрасионӣ; 2, 3 – башняҳои маводдори якҷум ва дуҷум ; 4 – манораи оксидкунанда ; 5, 6, 7 – манораҳои абсорбсионӣ манора; 8 – электрофилтрҳо.

Аҳамияти усули нитрозӣ: ороиши таҷҳизоти нав, иқтидори кам (на 10 - 15% камтар аз тамоснокӣ), коркарди 100%-и коркарди SO₂.

Усули тамосӣ

Бартариин ин усул дар он аст, ки гази гидрогенсулфид, ки ҳангоми суктани ашё ҳосил шудаанд, чунин намудҳои коркардро дар бар мегирад ашё, ба стадияи дигари коркард мегузаранд, тоза кардани газҳо аз чангҳо

ё ғашҳо ва катализаторҳои вайронкунанда, оксидшавии тамосии ангидриди кислотаи сулфат, ангидриди дар сулфур буда; абсорбсияи ангидриди кислотаи сулфат бо ҳосилшавии (расми 2).



Расми 2. Нақшаи истеҳсоли кислотаи сулфат бо усули тамосӣ:

1 – манораи шуянда; 2 – манораи шуянда бо насадка; 3 – электрофилтри тар; 4 – манораи хушккунаки дорои насадка; 5 - турбокомпрессор; 6 – гармиивазкункаи трубагӣ; 7 – аппарати тамосӣ; 8 -яҳдон; 9 -олеуми абсорберӣ; 10 - абсорбери моногидратӣ; 11 –яҳдони кислотадор; 12 - маҷмуъа; 13 –насоси марказӣ.

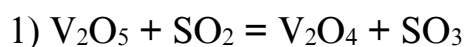
Реакторҳо ё таҷҳизотҳои тамосӣ барои оксидшавии каталиктикии ангидриди сулфат аз руи конструксияи худ ба таҷҳизотҳои ҷудо мешаванд, ки дар онҳо катализатори камҳаракат дошта, массаи тамосии онҳо дар 3-5 қабатро ташкил медиҳад. Боз таҷҳизотҳои қабати ҷушанда доранд. [6, с.88].

Барои баровардани гарми баъд аз гузаштани газ аз ҳар як қабати катализатор ба дохили аппарат бояд гази хунук ё ҳаворо сар диҳанд. Роҳи дигар ин ба аппарат ворид намудани гармиивазкунакҳо мебошад. Таҷҳизотҳои тамосӣ, гармогузар ва газгузар дар маҷмуъ гиреҳи тамосиро ташкил медиҳанд. Дарачаи мубадалшавии SO_2 ба SO_3 дар усули тамосӣ ба 99,7% баробар аст [1, с.58].

Барои ҳосил кардани кислотаи сулфат бо усули тамоси дар заводҳои ҳозиразамон катализаторҳои ванадийдор истифода карда мешаванд. Дар ин вақт платина ва оксидҳои оҳан кашида бароварда мешаванд. Платина бо осонӣ бо ғашҳо захролуд мешавад (хусусан пайвастагиҳои сурма ки дар таркиби ашё мавҷуданд) ва яке аз катализаторҳои пураарзиш ба ҳисоб меравад. Оксиди оҳан арзонтар аст, бо сурма захролуд намешавад, аммо фаъолиятнокии вай танҳо дар ҳароратҳои баланд зиёд мешавад (зиёда аз 600°C). Ҳарорати аввалии оксидшавӣ дар зерӣ таъсири катализатори ванадийдор аз 400 то 500°C лаппиш меҳурад ки ин аз газҳои печдор вобастагӣ дорад. Дар ҳарорати зиёда аз 600°C массаи тамосии ванадий ба пухтан сар мекунад ва фаъолиятнокии вай кам шудан мегирад [9, с.52].

Оксиди ванадийи тоза V_2O_5 дорои фаъолиятнокии сусти каталитикӣ буда, дар иштироки намакҳои металлҳои ишқорӣ тез меафзояд, аз ҷама таъсири калон ин намакҳои калий ба ҳисоб меравад. Яке аз бартариҳои металлҳои ишқорӣ ин ҳосилшавии намакҳои дорои гудохташавии паст ки пиросулфованадатҳо мебошанд. Сохти химиявии онҳо чунин буда $3K_2S_2O_7 \cdot V_2O_5$, $2K_2S_2O_7 \cdot V_2O_5$ ва $K_2S_2O_7 \cdot V_2O_5$, дар ҳароратҳои 315 -330, 365-380 ва 400-405°C таҷзия мешавад. Компоненти фаъол дар шароити катализ дар ҳолати гудохта мебошанд [1, с.94].

Нақшаи оксидшавии SO_2 ба SO_3 аз руи чунин нақша нишон дода мешавад:

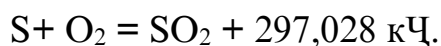


Дар зинаи аввал мувозанат барқарор мешавад, дар зинаи дуюм бошад оҳиста оҳиста гузашта суръати равандро муайян мекунанд [8, с.38].

Дар замони ҳозира дар истеҳсоли кислотаи сулфат ва олеум бо усули тамосӣ аз ҷама паҳншудатарин ин нақшаи технологии бо истифода аз тамосшавии дучанда ба ҳисоб меравад. «ТД - АД» (тамосшавии дучанда - абсорбсияи дучанда). Истифодабарии ин метод имконият медиҳад ки миқдори SO_2 - ро дар таркиби газҳои патовҳо кам мекунад, бағайр аз ин дар шубаҳои абсорбсионӣ ва тамосӣ низ ҳаҷми газро кам мекунад [5, с.48].

Истеҳсоли кислотаи сулфат аз сулфур

Истеҳсоли кислотаи сулфат аз таркиби сулфур аз руи усули тамосии дуқабата ва абсорбсияи дучанда ба роҳи монад шудааст. Ин усулҳо аз чунин марҳилаҳо иборатанд. Ҳаво баъди тозакунии аз чанг бо воситаи газпуфкунак бо манораи хушккунанда ворид мешавад ки дар он ҷо бо кислотаи сульфати 93 - 98% мубаддал шуда миқдори намӣ аз ҷиҳати ҳаҷм 0,01% ро ташкил медиҳад. Ҳавои хушкшуда ки дар яке аз гиреҳҳои тамосии гармомубаддалкунакҳои пешаки гарм шуда баъд ба печи сулфурдор ворид мешавад. Дар печ сулфур сухта форсункаҳо ҳосил мешаванд. Сулфури тавашабонарузи форсунка ба печ воридшударо месӯзонанд [3, с.86].

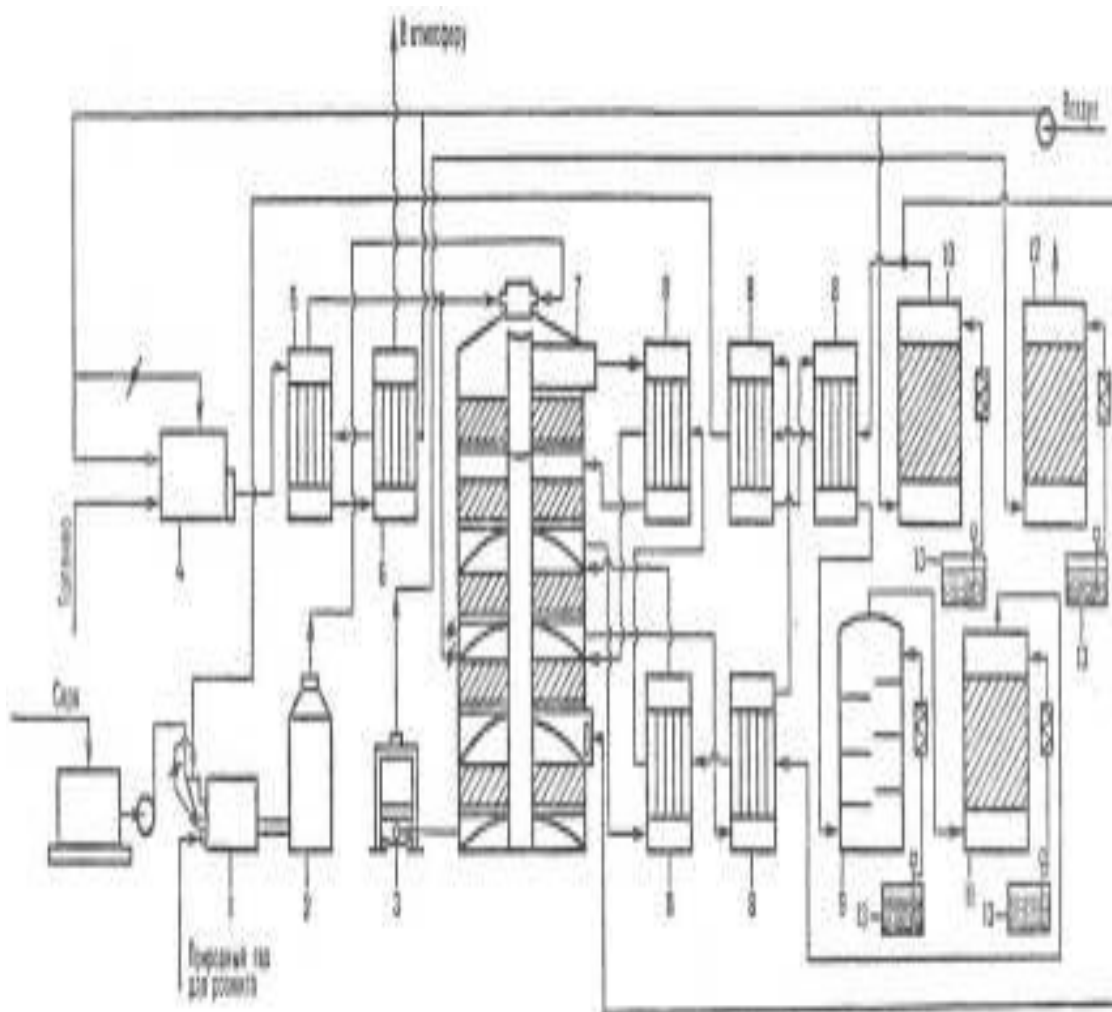


Пеш аз сӯзондан сулфур гудохта мешавад. ($t=113$). Гази сулфури ҳосилшуда дорои концентратсияи 18% бе ғашҳои ифлосшуда мебошад. Газ дар даруни дег хунук шуда ва баъди омехтакунии бо ҳаво то ҳосилшавии SO_2 9-10% дар ҳаҷм дар $420^\circ C$ дохил мешавад. Ба аппарати тамоси дар зинаи якуми конверсия, ки дар се қабати катализатор ҷойгир шудааст, ворид шуда, баъди вай газ дар гарми мубадилкунак хунук мешавад [7, с.124].

Баъд гази дорои 8,5-9,5% -ро дар ҳарорати $200^\circ C$ гарм намуда дар зинаи якуми ҷаббиш дар ҷаббандаи олеуми обёронидашуда гузашта пасон дар ҷаббиши моногидриди якуми обёронидашудаи кислотаи 98% сулфат мегузарад.



Баъд тозакунии кислотаи сулфат, то ҳарорати $420^\circ C$ ҷушида ба зинаи дууми конверсия мегузарад, ки дар ду қабати катализатор мегузарад. Пеш аз зинаи дууми ҷаббиш гази хунук дар экономайзер ҷамъ шуда ҳангоми ҷаббиши моногидриди зинаи дууми обёронишудаи кислотаи сулфати 98% ҳосил шуда, газҳои сулфурдор баъди тозакунии ба ҳаво хориҷ мешавад.



Расми 3. Нақшаи истеҳсоли кислотаи сулфат аз сулфур

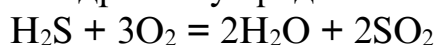
1- Печи сулфурдор; 2 - котел-утилизатор; 3 - экономайзер; 4 – тугмаи оғоз; 5, 6 –гармогузарҳои сардодани топкаҳо; 7 – таҷҳизоти контакӣ; 8 –гарми мубаддалкунандаҳо; 9 – абсорбери олеумдор; 10 – манораи хушккунак; 11 – абсорбери моногидратӣ; 12 – абсорбери моногидратӣ; 13 – кислотаҳои ҷамъовардашуда.

Усули тамоси дутарафа имконият медиҳад, ки дараҷаи тамосии то 0,995 дар якҷанд тартиб бардорад ва якҷанд маротиба хориҷи диоксиди сулфатро ба атмосфера кам мекунад [10, с.28].

Истеҳсоли кислотаи сулфат аз таркиби гидрогенсулфид

Усули истеҳсоли кислотаи сулфат аз гидрогенсулфид катализи тар номида мешавад ва аз зинаҳои зерин иборат аст:

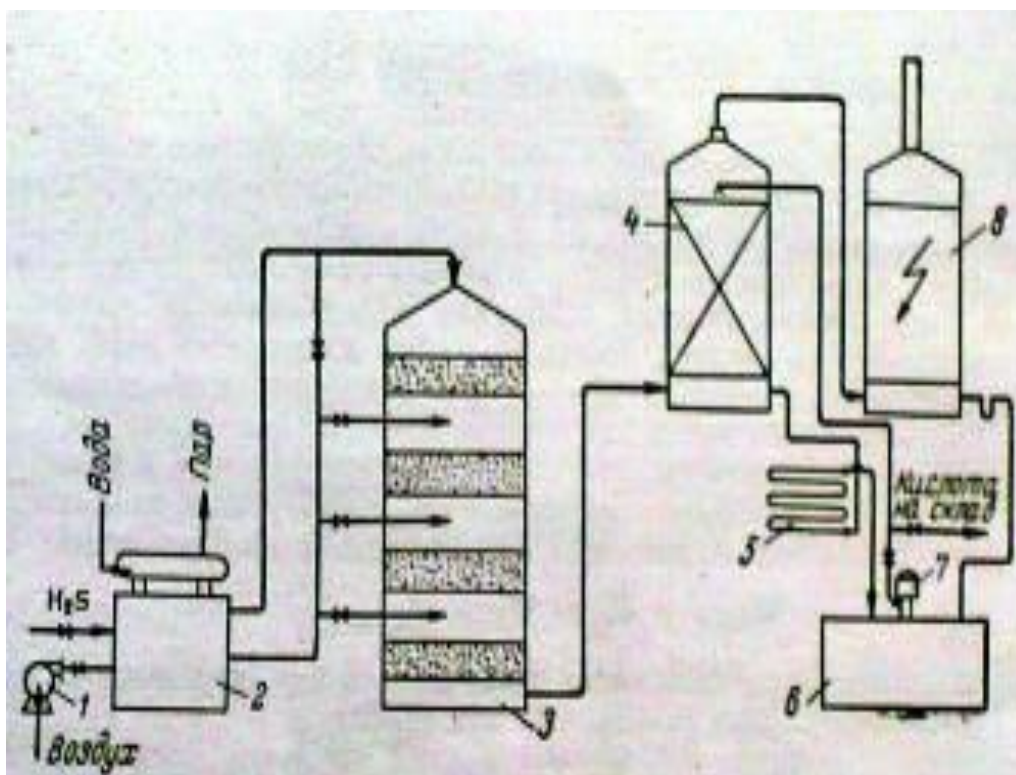
Сухтани гидрогенсулфид:



Оксидшавии ангидриди сулфат дар катализи ванадийдори сулфат дар иштироки буғҳои об мегузарад. Дар ин вақт кислотаи сулфат дар шакли буғ ҳосил мешавад [2, с.75].

Конденсасияи кислотаи сулфат ҳангоми хунукшавии буғҳо.

Таҷҳизот барои истеҳсоли кислотаи сулфат аз рӯи усули катализи тар дорои печҳои мебошад, ки барои сузондани гидрогенсулфид истифода карда мешаванд. Боз ин намуди печҳои аппарати тамосӣ дошта барои оксидшавии диоксиди сулфур дар триоксид ва манора истифода карда мешаванд. Ин намуди таҷҳизотҳо дар заводҳои коркарди нафт ва дигар корхонаҳо мавҷуданд. Боз дар корхонаҳои ки ба ҷои партовҳои газҳои гидрогенсулфидро ҳосил мекунад (Расми 4)



Расми 4. Истеҳсоли кислотаи сулфат аз таркиби гидрогенсулфид:
 1- шамолтиҳияк; 2 - печ-дег; 3 – аппарати тамосӣ; 4 - манора-конденсатор; 5 - яхдон; 6 - сборник; 7 - насос; 8 - электрофилтр

Аз ҳама ашёи арзон барои истеҳсоли кислотаи сулфат ин қолҷедани оҳан ба ҳисоб меравад. Вазифаи асосии истеҳсоли кислотаи сулфат дар замони ҳозира ин баланд бардоштани дараҷаи тамосиронӣ ва паст намудани миқдори зараррасонии диоксидаи сулфур ба муҳити атроф мебошад. Барои баланд бардоштани дараҷаи охири тамоси усули тамосии дучандаро истифода мекунанд. Раванди оксидшавии ангидриди сулфатро дар ду зина мегузаронанд. Раванди абсорбсияро низ дар ду зина мегузаронанд ки имконият медиҳад ки на танҳо кислотаи сулфат балки олеумро низ дар консентрасияҳои гуногун ҳосил намоянд. Дар баробари баланд кардани дараҷаи истеҳсолоти кислотаи сулфат истифодабарии усули мазкур як қатор масъалаҳои экологиро ҳал менамояд. Боз компонентҳои зараровари диоксидаи карбон кам карда мешаванд [4, с.42].

Адабиёт

1. Амелин А. Г. Производство серной кислоты. — М.: Химия, 1964. — 247 с.
2. Большая энциклопедия эрудита. — М.: Махаон, 2005. — 487 с.
3. Брайловский С. М. и др. Химическая промышленность. — 1995. — № 7. — С. 23–27.
4. Васильев Б. Т., Отвагина М. И. Технология серной кислоты. — М.: Химия, 1985. — 352 с.

5. *Малин К. М., Аркин И. А., Боресков Г. К., Слинко М. Г.* Технология серной кислоты. — М.: Госхимиздат, 1984. — 380 с.
6. *Солиев Л.* Химияи ғайриорганикӣ (химияи элементҳо ва пайвастагиҳои онҳо): китоби дарсӣ. Нашри 2-юм, бо коркард ва иловаҳо. — Душанбе, 2012. — 354 саҳ.
7. *Соколов Р. С.* Химическая технология: учеб. пособие для вузов. Т. 1. — М.: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС, 2000. — 368 с.
8. *Степеневских А. С.* Охрана окружающей среды: учебник для вузов. — М.: Юнити-Дана, 2000. — 559 с.
9. *Солиев Л.* Химия: китоби дарсӣ барои синфи 9. — Душанбе, 2007. — 160 саҳ.
10. *Справочник сернокислотчика* / под ред. К. М. Малина. — М.: Химия, 1971. — 744 с.

УСУЛҲОИ ИСТЕҲСОЛИ КИСЛОТАИ СУЛФАТ

Фишурда. Дар мақолаи мазкур усулҳои гуногуни ҳосил кардани кислотаи сулфат оварда шудааст.

Истеҳсоли кислотаи сулфат аз таркиби сулфур аз руи усули тамосии дуқабата ва абсорбсияи дучанда ба роҳ монда шудааст. Ин усулҳо аз чунин марҳилаҳо иборатанд. Ҳаво баъди тозакунии азчанг бо воситаи газопуфкунак бо манораи хушккунанда ворид мешавад ки дар он ҷо бо кислотаи сульфати 93 - 98% мубаддал шуда миқдори намӣ аз ҷиҳати ҳаҷм 0,01% ро ташкил медиҳад. Ҳавои хушкшуда ки дар яке аз гиреҳҳои тамосии гармомубаддалкунакҳои пешаки гарм шуда баъд ба печи сулфурдор ворид мешавад. Дар печ сулфур сухта форсункаҳо ҳосил мешаванд.

Калидвожаҳо: усули нитрозӣ, усули тамосӣ, печ, конденсатсия, катализатор, адсорбсия, олеум, гидрогенсулфид.

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Аннотация. В данной статье представлены различные методы производства серной кислоты.

Производство серной кислоты из серы осуществляется методом двухслойного контакта и методом двойной абсорбции. Эти методы состоят из следующих этапов. После очистки воздуха от пыли с помощью газонагнетателя он поступает в сушильную башню, где превращается в 93-98% серную кислоту, влажность которой составляет 0,01% по объему. Осушенный воздух предварительно нагревается в одном из контактных узлов теплообменников, а затем поступает в серную печь. В печи сера сжигается, образуя сопла.

Ключевые слова: метод с использованием закиси азота, контактный метод, печь, конденсация, катализатор, адсорбция, олеум, сероводород.

METHODS OF MANUFACTURING SULFURIC ACID

Annotation. This article presents various methods for producing sulfuric acid.

The production of sulfuric acid from sulfur is carried out by the double-layer contact method and double absorption. These methods consist of the following stages. After cleaning the air from dust by means of a gas blower, it enters a drying tower, where it is converted into 93 - 98% sulfuric acid, the moisture content of which is 0.01% by volume. The dried air is preheated in one of the contact nodes of the heat exchangers and then enters the sulfur furnace. In the furnace, sulfur is burned, forming nozzles.

Keywords: nitrous method, contact method, furnace, condensation, catalyst, adsorption, oleum, hydrogen sulfide.

Маълумот дар бораи муаллиф: Сайдалиев Дилшод Абдулхамидович – муаллими калони кафедраи химияи умумии Донишгоҳи давлатии Данғара. Тел: 555-05-90-95, Е-майл: dilsodsajdaliev994@gmail.ru.

Раҳмонов Эмомали Шарифович – ассистенти кафедраи химияи умумии Донишгоҳи давлатии Данғара. Тел 907-35-92-29.

Информация об авторах: Сайдалиев Дилшод Абдулхамидович – старший преподаватель кафедры общей химии Дангаринского государственного университета. Телефон: 555-05-90-95, E-mail: dilsodsajdaliev994@gmail.ru.

Рахмонов Эмомали Шарифович – ассистент кафедры общей химии Дангаринского государственного университета. Тел. 907-35-92-29.

Information about the authors: Saidaliev Dilshod Abdulhamidovich – Senior Lecturer, Department of General Chemistry, Dangara State University. Tel: 555-05-90-95, E-mail: dilsodsajdaliev994@gmail.ru.

Rakhmonov Emomali Sharifovich – Assistant Professor of the Department of General Chemistry, Dangara State University. Tel. 907-35-92-29.

Муқарриз: Раҷабов С.Ф. – н.и.х., и.в. дотсенти кафедраи химияи умумии ДДД

Мақола ба редаксия ворид шуд: 05.01.2026

Аз тақриз баргашт: 27.02.2026

Ба чоп тавсия шуд: 10.03.2026

МАЪЛУМОТ БАРОИ МУАЛЛИФОН

Талабот нисбат ба мақолаҳои илмие, ки ба маҷаллаи илмии «Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара» пешниҳод мешаванд.

Мақолаҳои илмие, ки ба редаксияи 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 А4 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;
- номгӯйи 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 (тоҷикӣ, 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);
- муаллифон барои саҳеҳӣ, эътимодноки ва муҳтавои илмии мақолаҳо масъулияти пурра доранд.

Тақриз ба мақолаи илмии 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

Назрублов Н.Н. Баҳои ғайритривиалии суммаҳои тригонометрии кӯтоҳи Г.Вейл дар камонҳои хурд.....	5
Раҳмонов Б.А., Қаюми Д.Д., Исмаилов Ш.Р. Ҳалли умумикардасудаи масъалаи Дирихле барои баъзе муодилаҳои дифференсиалии ғайрихаттии тартиби дуюм бо ҳосилаҳои хусусӣ.....	10
Файззода К.Ш. Ҳалшавандагии масъалаҳои канор барои баъзе системаҳои муодилаҳои дифференсиалии эллиптикии тартиби шаш дар ҳамворӣ.....	18
Шарофиддин Юсуфӣ, Ҷуразода Х.Ш., Восидов Ш.Ю., Умаров А.Н. Методикаи татбиқи моделсозии математикӣ ва компютери устуворияти критерияи Ляпунов бо муодилаи хосҳои тартиби сеюм.....	32
Ҷалилов Х. М. Сохтани модели концептуалӣ ва модели математикии боғҳои мевадор.....	39
Насруллозода Қ.Н. Таҷрибаҳои компютерӣ бо модели тағйирёбии ҳарорати хок....	48

ФИЗИКА

Зокиров Ф.Ш. Хосиятҳои теплофизикӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи ноқили алюминии АITi0.1 бо калсий, стронсий ва барий модификацияшуда.....	56
Ризоев С.Ғ. Таҳқиқоти физикии ҳолатҳои агрегатӣ, гузаришҳои фазаӣ ва хусусиятҳои термомеханикии полимерҳо.....	71
Маҳмудзода А.М., Умаров М.Ф. Таҳлили спектрҳои дууминии афканишоти доруворӣ дар асоси истифодаи системаи қайдкунии хурд.....	83
Зокирзода Ф.Ш. (Зокиров Ф.Ш.), Ғаниев И.Н., Амиров А.Ҷ. Хосиятҳои теплофизикӣ ва функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи ноқили алюминийи АLTi0.1 бо празеодим ҷавҳаронидашуда.....	96
Абдуллозода С.Ф., Абдуджамилзода М.А., Маслов В.А. Хусусияти параметрҳои ҳарорати вертикалӣ дар тропосфераи болоӣ ва стратосфераи поёнӣ дар шаҳри Душанбе дар моҳи июли 2021.....	108
Баротов Н.И., Гафоров С. Таҳлили назарияи физикӣ ва кимиёии маводҳои нимноқилӣ ва баъзе хусусиятҳои асосии антимониди индий.....	117
Нуралӣзода А. Ғ., Олимӣ А.Р., Каримзода А.Н. Таҳқиқи ҳалли масъалаҳои физикӣ тавассути моделронии компютерӣ.....	126
Назруллозода А.С., Неъматов А., Баротов Н.И. Омӯзиши гармигузаронии маҳлулҳои полимерӣ ҳангоми тағйирёбии ҳарорат ва фишор.....	137

ХИМИЯ

Раджабов Ш. Х., Нурмадзода А. А., Раҳмонов Э. Ш. Асосноккунии илмӣ-химиявӣ ва таҳияи технология барои коркарди партовҳои истеҳсоли алюминий бо истифода аз ашёи хоми минералии маҳаллӣ.....	144
Бойназарзода К.У., Ёрмамадова С.Г., Раҷабов У. Комплексошудани нукра (I) бо албендазол дар ҳалқунандаи органикӣ- ДМСО.....	157
Сайдалиев Д.А., Раҳмонов Э.Ш. Асосҳои химиявӣ ва каталитикии истеҳсоли кислотаи сульфат.....	165

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Назрублов Н.Н. Нетривиальная оценка коротких тригонометрических сумм Г. Вейля в малых дугах.....	5
Рахмонов Б.А., Каюми Д.Д., Исмаилов Ш.Р. Обобщенное решение задачи Дирихле для некоторых нелинейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка.....	10
Файззода К.Ш. Разрешимость краевых задач для некоторых систем эллиптических дифференциальных уравнений шестого порядка на плоскости...18	
Шарофиддин Юсуфи, Джуразода Х.Ш., Восидов Ш.Ю., Умаров А.Н. Методика реализации математического и компьютерного моделирования устойчивости критерия Ляпунова с характеристическим уравнением третьего порядка.....	32
Джалилов Х. М. Построение концептуальной и математической модели фруктового сада.....	39
Насруллозода К.Н. Компьютерные эксперименты с моделью изменения температуры почвы.....	48

ФИЗИКА

Зокиров Ф.Ш. Теплофизические свойства и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава ALTi0.1 модифицированного кальцием, стронцием и барием.....	56
Ризоев С.Г. Физическое исследование агрегатных состояний, закономерностей фазовых переходов и термомеханических свойств полимерных материалов.....	71
Махмудзода А.М., Умаров М.Ф. Анализ спектров вторичного излучения фармацевтических препаратов на основе использования малогабаритной системы регистрации.....	83
Зокирзода Ф.Ш. (Зокиров Ф.Ш.), Ганиев И.Н., Амиров А.Дж. Теплофизические свойства и термодинамические функции алюминиевого проводникового сплава ALTi0.1, легированного празеодимом.....	96
Абдуллозода С.Ф., Абдуджамилзода М.А., Маслов В.А. Особенности температурного режима верхней тропосферы и нижней стратосферы в г. Душанбе в июле 2021 года.....	108
Баротов Н.И., Гафоров С. Анализ физико-химической теории полупроводниковых материалов и некоторые основные свойства антимонида индия.....	117
Нурализода А. Г., Олими А.Р., Каримзода А.Н. Исследование решения физических задач с помощью компьютерного моделирования.....	126
Назруллозода А.С., Нейматов А., Баротов Н.И. Исследование теплопроводности полимерных растворов при вариации температуры и давления.....	137

ХИМИЯ

Раджабов Ш. Х., Нурмадзода А. А., Рахмонов Э. Ш. Научно-химическое обоснование и разработка технологии переработки отходов алюминиевого производства с применением местного минерального сырья.....	144
Бойназарзода К.У., Ёрмамадова С.Г., Раджабов У. Комплексообразование серебра (I) с альбендазолом в органическом растворителе ДМСО.....	157
Сайдалиев Д.А., Рахмонов Э.Ш. Химические и каталитические основы производства серной кислоты.....	165

CONTENTS

MATHEMATICS

Nazrubloev N. N. Non – trivial estimate of short exponential Weyl's sum in minor arcs.....	5
Rahmonov B. A., Qayumi D. D., Ismatov Sh. R. Generalized solution to the Dirichlet problem for some second-order nonlinear partial differential equations.....	10
Fayzzoda K. Sh. Solvability of boundary value problems for some systems of sixth-order elliptic differential equations on the plane.....	18
Sharofiddin Y., Dzhurazoda Kh. Sh., Vosidov Sh. Y., Umarov A.N. Method for implementing mathematical and computer modeling of the stability of the Lyapunov criterion with a third-order characteristic equation.....	32
Jalilov Kh. M. Construction of a conceptual and mathematical model of fruit garden.....	39
Nasrullozoda Q. N. Computer experiments with a model of soil temperature change.....	48

PHYSICS

Zokirov F. Sh. Thermophysical properties and changes in thermodynamic functions of aluminum conductor alloy AlTi0.1 with calcium, strontium and barium.....	56
Rizoev S. G. Physical study of aggregate states, regularities of phase transitions, and thermomechanical properties of polymers materials.....	71
Makhmudzoda A. M., Umarov M. F. Analysis of secondary emission spectra of pharmaceuticals using a small-size detection system.....	83
Zokirzoda F. Sh., Ganiev I. N., Amirov A. Dz. Thermophysical properties and thermodynamic functions of aluminum conductor alloy AlTi0.1 alloyed.....	96
Abdullozoda S. F., Abdujamilzoda M. A., Maslov V. A. Quantitative analysis of vertical temperature profiles in the upper troposphere and lower stratosphere over Dushanbe in July 2021.....	108
Barotov N. I., Gaforov S. Analysis of physical and chemical theory of semiconductor materials and some basic properties of indium antimonide.....	117
Nuralizoda A. G., Olimi A. R., Karimzoda A. N. Study of solving physical problems using computer modeling.....	126
Nazrullozoda A.S., Nematov A., Barotov N. I. Investigation of the thermal conductivity of polymer solutions under variations of temperature and pressure.....	137

CHEMISTRY

Radjabov Sh. Kh., Nurmadzoda A. A., Rahmonov E. Sh. Development of a technology for chemical processing of aluminum production waste using local minerals.....	144
Boynazarzoda K. U., Yormamadova S. G., Radzhabov U. Complex formation of silver (I) with albendasole in the organic solvent DMSO.....	157
Saidaliev D. A., Rakhmonov E. Sh. Chemical and catalytic foundations of sulfuric acid production.....	165

ПАЁМИ

ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНГАРА

Бахши илмҳои табиӣ

2026. № 1 (35)

ВЕСТНИК

ДАНГАРИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО

УНИВЕРСИТЕТА

Серия естественных наук

2026. № 1 (35)

BULLETIN

OF DANGARA STATE UNIVERSITY

Series of natural science

2026. № 1 (35)

Ба матбаа 13.03.2026 супорида шуд.

Ба чопаш 17.03.2026 имзо шуд.

Қоғаз офсет. Андозаи 60x84 1/16. Ҷузъи чоп. 22,5

Супориши №34. Адади нашр 50 нусха.

ҶДММ “Моҳи-Мунир”