

ISSN 2410-4221
2025/№2(32)

ПАЁМИ

ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА

Бахши илмҳои табиӣ
2025. № 2 (32)

ВЕСТНИК

**ДАНГАРИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Серия естественных наук
2025. № 2 (32)

BULLETIN

OF DANGARA STATE UNIVERSITY

Series of natural science
2025. No 2 (32)

www.vestnik.dsu.tj

№ 2 (32)

Данғара – 2025

**ПАЁМИ ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА
БАХШИ ИЛМҲОИ ТАБИЙ**

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

Сармуҳаррири маҷалла:

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

Муовини сармуҳаррир:

Қодирзода Х.Қ. – номзади илмҳои иқтисодӣ, дотсент, муовини ректор
оид ба илми Донишгоҳи давлатии Данғара.

Мухаррири техникӣ:

Олимов Р.А. номзади илмҳои химия, 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/МҚ-97
аз 20 августи соли 2021 ба қайд
гирифта шудааст*

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

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

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

01.01.00 – Математика,

01.04.00 – Физика,

02.00.00 – Химия.

Сомонаи маҷалла: vestnik.dsu.tj

Е-mail: vestnik@dsu.tj

Тел: (833 12)22802

*Паёми Донишгоҳи давлатии
Данғара – 2025. № 2 (32).*

Ҳайати таҳририя:

01.01.00 – Математика

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

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

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

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

01.04.00 – Физика

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

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

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

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

Злотский Семён Соломонович – доктори илмҳои
химия, профессор, узви вобастаи АИР (ДДТНУ, Уфа,
Россия);

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

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

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

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

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

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

Исозода Диловар Тарик – номзади илмҳои химия,
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. – кандидат экономических наук, доцент, проректор по науке
Дангаринского государственного университета.

Технический редактор:

Олимов Р.А. – кандидат химических 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 – 2025. № 2 (32).*

Члены редколлегии:

01.01.00 – Математика

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

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

Мирзоев Саятло 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);

Джуроев 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

Злотский Семён Соломонович – доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН (УГНТУ, Уфа, Россия);

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

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

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

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

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

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

Исозода Диловар Тарик – кандидат химических 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. – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor Vice-Rector for Science of Dangara State University

Technical editor:

Olimov R.A. Candidate of Chemical 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

- 2025. No. 2. (32).

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 Habibuloevich – 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);

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

Olimi Ashurali Ramazon – Candidate of physical and mathematical sciences (DSU);

02.00.00 – Chemistry

Zlotsky Semyon Solomonovich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (USPTU, Ufa, Russia);

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

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

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

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

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

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

Isozoda Dilovar Tariq – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor (TEL, Bokhtar);

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

Rajabov Saydali – Candidate of Chemical Sciences (DSU).

ТАҲҚИҚ НАМУДАНИ МУОДИЛАИ ИНТЕГРО – ДИФФЕРЕНСИАЛИИ
ТАРТИБИ СЕЮМ БО ЯДРОИ СИНГУЛЯРӢ БО ИСТИФОДА АЗ
ТАБДИЛОТИ ИНТЕГРАЛИИ МЕЛЛИН

Умаров С.Ҳ.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Синфи функсияҳои $\varphi(x)$ –ро бо рамзи $C_\gamma[0,1]$ ишорат мекунем, ки шартҳои зеринро қаноат менамоянд:

- 1) $\varphi = \varphi(x)$ агар $x \in (0,1)$ бошад ва $\varphi = 0$, агар $x \in (1, \infty)$;
- 2) функсияи $\varphi(x)$ дорои D_x – ҳосилаи тартиби якум мебошад;
- 3) ададҳои доимии $k > 0$ ва $\gamma > 0$ мавҷуд аст, ки нобаробарии $|\varphi(x)| \leq kx^\gamma$ иҷро мешавад.

Синфи чунон функсияҳоро дар оянда, синфи функсия – аслҳо дар маънои Меллин меномем.

Бигузор $\Gamma = \{x: 0 < x < 1\}$ - маҷмуи нуқтаҳо дар тири ҳақиқӣ бошад. Дар Γ муодилаи интегро – дифференсиалии тартиби сеюми зеринро дида мебароем:

$$y''' + \frac{A_1}{x} y'' + \frac{A_2}{x^2} y' + \frac{A_3}{x^3} y + \int_0^x \frac{A_4}{t^4} y(t) dt = f(x), \quad (1)$$

ки дорои ядрои махсус буда, дар ин ҷо A_1, A_2, A_3, A_4 – ададҳои доимӣ, $f(x)$ – функсияи додашудаи синфи $C_\gamma[0,1]$, $y(x)$ – функсияи номаълум мебошад.

Ба муодилаи ғайриякҷинсаи (1) муодилаи якҷинсаи

$$y''' + \frac{A_1}{x} y'' + \frac{A_2}{x^2} y' + \frac{A_3}{x^3} y + \int_0^x \frac{A_4}{t^4} y(t) dt = 0 \quad (1')$$

мувофиқ меояд.

Ҳалли муодилаи (1) – ро дар синфи функсия - аслҳо дар маънои Меллин мекобем, ки онҳо инчунин дар нуқтаи $x = 0$ ба нул мубаддал гашта, рафторашон аз рӯи формулаи ассимптотикии зерин муайян карда мешаванд:

$$y(x) = o[x^{\delta_1}], \delta_1 > 3, \text{ ҳангоми } x \rightarrow 0. \quad (2)$$

Синфи чунон функсияҳоро дар оянда бо $C_\gamma^0[0,1]$ ишорат мекунем.

Муодилаи (1) – ро тадқиқ менамоем. Барои ин, пеш аз ҳама дар муодила функсияи номаълуми навро бо ёрии формулаи

$$\frac{y(x)}{x^3} = z(x) \quad (3)$$

дохил мекунем. Он гоҳ

$$y(x) = x^3 z(x), \quad y'(x) = x^3 z'(x) + 3x^2 z(x),$$

$$\begin{aligned}
y''(x) &= x^3 z''(x) + 3x^2 z'(x) + 3x^2 z'(x) + 6xz(x) \\
&= x^3 z''(x) + 6x^2 z'(x) + 6xz(x) \\
y'''(x) &= x^3 z'''(x) + 3x^2 z''(x) + 6x^2 z''(x) + 12xz'(x) + 6xz'(x) + 6z(x) = \\
&= x^3 z'''(x) + 9x^2 z''(x) + 18xz'(x) + 6z(x) \quad (4)
\end{aligned}$$

мешавад. Бо истифода аз баробариҳои (3) ва (4) муодилаи (1) – ро чунин менависем:

$$\begin{aligned}
&x^3 z'''(x) + 9x^2 z''(x) + 18xz'(x) + 6z(x) + \frac{A_1}{x} \cdot x(x^2 z''(x) + 6xz'(x) + 6z(x)) \\
&+ \\
&+ \frac{A_2}{x^2} \cdot x^2(xz'(x) + 3z(x)) + \frac{A_3}{x^3} \cdot x^3 z(x) + \int_0^x \frac{A_4}{t^4} t^3 z(t) dt = f(x), \quad (5)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&x^3 z'''(x) + (A_1 + 9)x^2 z''(x) + (6A_1 + A_2 + 18)xz'(x) + \\
&+ (6A_1 + 3A_2 + A_3 + 6)z(x) + \int_0^x \frac{A_4}{t} z(t) dt = f(x). \quad (5')
\end{aligned}$$

Оператори дифференсиалии $D_x = x \frac{d}{dx}$ – ро дохил менамоем. Бо назардошти он ки

$$\begin{aligned}
D_x^2 z &= x^2 \frac{d^2 z}{dx^2} + x \frac{dz}{dx} \\
D_x^3 z &= x^3 \frac{d^3 z}{dx^3} + 3x^2 \frac{d^2 z}{dx^2} + x \frac{dz}{dx}
\end{aligned}$$

аст, (5') –ро дар шакли зерин менависем:

$$\begin{aligned}
&D_x^3 z + (A_1 + 6)D_x^2 z + (5A_1 + A_2 + 8)D_x z + \\
&+ (6A_1 + 3A_2 + A_3 + 6)z + \int_0^x \frac{A_4}{t} z(t) dt = f(x). \quad (6)
\end{aligned}$$

Оператори D_x – ро бори дигар ба ду тарафи муодилаи (6) татбиқ намуда, ба ҳалли муодилаи операторӣ – дифференсиалии зерин меоем:

$$\begin{aligned}
D_x^4 z + (A_1 + 6)D_x^3 z + (5A_1 + A_2 + 8)D_x^2 z + (6A_1 + 3A_2 + A_3 + 6)D_x z + A_4 z = \\
= D_x f(x). \quad (7)
\end{aligned}$$

Ишораҳои

$$\begin{aligned}
A_1 + 6 &= M_1; \quad 5A_1 + A_2 + 8 = M_2; \quad 6A_1 + 3A_2 + A_3 + 6 = M_3; \\
A_4 &= M_4, \quad F(x) = D_x f(x)
\end{aligned}$$

-ро дохил намуда, муодилаи зеринро ҳосил мекунем:

$$D_x^4 z + M_1 D_x^3 z + M_2 D_x^2 z + M_3 D_x z + M_4 z = F(x). \quad (8)$$

Таҳқиқи муфассали баъзе синфҳои муодилаҳои дифференсиалӣ ва интегро-дифференсиалӣ бо коэффисиентҳо ва ядроҳои сингулярӣ дар корҳои [7], [8] [9], [10], [18], [19], [20] гузаронида шуда буд.

Дар мақолаи мазкур муодилаи (8) – ро бо истифода аз табдилоти интегралӣ Меллин тадқиқ менамоем. Қайд мекунем, ки дар корҳои [3]-[4] муодилаи операторӣ – дифференсиалии намуди (8) – и тартиби ду ва се бо методи оператсионӣ тадқиқ карда шуда буд.

Фарз мекунем, ки якҷоя бо муодилаи (8) шартҳои аввалии сифрӣ дар нуқтаи $x = 1$ дода шудаанд, яъне

$$z(x)|_{x=1} = 0, D_x z(x)|_{x=1} = 0, D_x^2 z(x)|_{x=1} = 0, D_x^3 z(x)|_{x=1} = 0. \quad (8')$$

Табдилоти интегралӣ Меллинро ба ду тарафи муодилаи (8) татбиқ намуда, ҳосил мекунем:

$$\mathcal{M}\{D_x^4 z + M_1 D_x^3 z + M_2 D_x^2 z + M_3 D_x z + M_4 z\} = \mathcal{M}\{F(x)\}.$$

Аз ин ҷо бо истифода аз формулаи

$$\left(x \frac{d}{dx}\right)^n \varphi(x) =: p^n \mathcal{M}(p)$$

ки исботаш дар кори [6] оварда шуда буд, меёбем:

$$p^4 Z(p) + M_1 p^3 Z(p) + M_2 p^2 Z(p) + M_3 p Z(p) + M_4 Z(p) = \Phi(p), \quad (9)$$

ё ин ки

$$(p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4) Z(p) = \Phi(p),$$

ки ин ҷо $z(x) =: Z(p)$, $F(x) =: \Phi(p)$.

Аз баробарии (9) $Z(p)$ – ро меёбем:

$$Z(p) = \frac{\Phi(p)}{p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4}. \quad (10)$$

Вобаста аз решаҳои муодилаи характистикии

$$p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4 = 0 \quad (11)$$

функсия – аслҳо барои тарафи ростии (10) дар намудҳои гуногун муайян карда мешаванд. Барои муайян намудани функсия – асли тарафи ростии (10) пеш аз ҳама онро дар намуди

$$Z(p) = \frac{1}{p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4} \cdot \Phi(p)$$

менависем. Функсияи интиқолий (интиқолдиҳанда)

$$\pi(p) = \frac{1}{p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4}$$

– ро дохил менамоем.

Функсия – аслҳоро вобаста аз решаҳои муодилаи характистикии (11) барои функсияи интиқолдиҳанда дар ҷаҳор ҳолат меёбем:

I. Бигузори решаҳои муодилаи характистикии (11) ҳақиқӣ ва гуногун бошанд, ки онҳоро бо p_1, p_2, p_3, p_4 ишорат мекунем. Инчунин бигузори шартӣ $p_1 < p_2 < p_3 < p_4$ иҷро шавад. Он гоҳ

$$\pi(p) = \frac{1}{(p - p_1)(p - p_2)(p - p_3)(p - p_4)} = \frac{B_1}{p - p_1} + \frac{B_2}{p - p_2} + \frac{B_3}{p - p_3} + \frac{B_4}{p - p_4}.$$

Функсияи асло барои $\pi(p)$ барқарор мекунем:

$$\pi(p) = \frac{B_1}{p-p_1} + \frac{B_2}{p-p_2} + \frac{B_3}{p-p_3} + \frac{B_4}{p-p_4} := \\ := B_1 x^{p_1} + B_2 x^{p_2} + B_3 x^{p_3} + B_4 x^{p_4} = z_{00}^1(x). \quad (12)$$

II. Бигузур решаҳои муодилаи хараактеристикии (11) ҳақиқӣ ва яххела бошанд, яъне $p_1 = p_2 = p_3 = p_4$ бошад. Пас аз ин ҷо

$$\pi(p) = \frac{1}{(p-p_1)^4} = \frac{1}{6} \cdot \frac{3!}{(p-p_1)^{3+1}} := \frac{1}{6} x^{p_1} \ln^3 x = z_{00}^2(x). \quad (13)$$

III. Бигузур муодилаи хараактеристикии (11) дорои ду ҳалҳои ҳақиқии яххела ва ду ҳалҳои ҳақиқии гуногун бошад, ки онҳоро чунин ишорат мекунем: $p_1 = p_2, p_3, p_4$. Он гоҳ

$$\pi(p) = \frac{B_1}{(p-p_1)^2} + \frac{B_2}{p-p_3} + \frac{B_3}{p-p_4} := B_1 x^{p_1} \ln x + B_2 x^{p_3} + B_3 x^{p_4} \\ = z_{00}^3(x). \quad (14)$$

IV. Бигузур муодилаи хараактеристикии (11) ду ҳалҳои комплекси хамроҳшуда ва ду ҳалҳои ҳақиқии гуногун дошта бошад, ки онҳоро чунин ишорат мекунем: $p_{1,2} = \alpha_1 \pm i\beta_1, p_3 < p_4$. Он гоҳ

$$\pi(p) = \frac{B_1 p + B_2}{(p-\alpha_1)^2 + \beta_1^2} + \frac{B_3}{p-p_3} + \frac{B_4}{p-p_4} := \\ := x^{\alpha_1} [B_1 \cos[\beta_1 \ln x] + B_2 \sin[\beta_1 \ln x]] + B_3 x^{p_3} + B_4 x^{p_4} = z_{00}^4(x). \quad (15)$$

Акнун барои ёфтани функсия – асл барои $\mathcal{M}(p)$ шабеҳи формулаи Дюамелро дар намуди теоремаи зерин, ки дар қори [5] оварда шудааст, меорем:

Теоремаи 1. Агар $f_1(x) =: F_1(p)$ ва $f_2(x) =: F_2(p)$, он гоҳ

$$\int_1^x f_1(t) f_2\left(\frac{x}{t}\right) \frac{dt}{t} =: F_1(p) \cdot F_2(p).$$

Дар асоси теоремаи 1 бо осонӣ нишон додан мумкин аст, ки

$$\int_1^x f_1(t) f_2\left(\frac{x}{t}\right) \frac{dt}{t} = \int_1^x f_1\left(\frac{x}{t}\right) f_2(t) \frac{dt}{t}.$$

Функсия – аслҳоро барои инъикоси $Z(p)$ дар асоси ин теорема дар ҷор ҳолати решаҳои муодилаи хараактеристикии (11) барқарор менамоем.

I. Дар асоси теоремаи 1 ва баробарии (12) функсия – асл $z(x)$ – ро ҳангоми решаҳои муодилаи хараактеристикии (11) ҳақиқӣ ва гуногун будан ин тавр муайян карда мешавад.

$$z(x) = \int_1^x \left[B_1 \left(\frac{x}{t}\right)^{p_1} + B_2 \left(\frac{x}{t}\right)^{p_2} + B_3 \left(\frac{x}{t}\right)^{p_3} + B_4 \left(\frac{x}{t}\right)^{p_4} \right] F(t) \frac{dt}{t}.$$

Ишораҳои дар боло дохилкардашударо ба инобат гирифта, ҳосил мекунем:

$$z(x) = \int_1^x \left[B_1 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} + B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_2} + B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + B_4 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] D_t f(t) \frac{dt}{t}. \quad (16)$$

Баробарии ҳосилшударо як маротиба қисм ба қисм интегронида, ҳосил менамоем:

$$z(x) = \int_1^x \left[p_1 B_1 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} + p_2 B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_2} + p_3 B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + p_4 B_4 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] f(t) \frac{dt}{t}. \quad (17)$$

Баробарии (17) – ҳалли ягонаи муодилаи операторӣ – дифференсиалии (8) – ро дар ҳолати иҷро шудани шартҳои ибтидоии нулии (8') медиҳад.

II. Ҳангоми решаҳои муодилаи характериستيкии (11) ҳақиқӣ ва яхела будан, функсия – асл $z(x)$ дар асоси теоремаи 1 ин тавр муайян карда мешавад:

$$z(x) = \frac{1}{6} \int_1^x \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} \ln^3 \frac{x}{t} F(t) \frac{dt}{t}.$$

ё

$$z(x) = \frac{1}{6} \int_1^x \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} \ln^3 \frac{x}{t} D_t f(t) \frac{dt}{t}. \quad (18)$$

Дар ин баробарӣ методи қисм ба қисм интегрониho истифода бурда, ҳосил мекунем:

$$z(x) = \frac{1}{6} \int_1^x \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} \left[p_1 \ln^3 \frac{x}{t} + 3 \ln^2 \frac{x}{t} \right] f(t) \frac{dt}{t}, \quad (19)$$

ки ин ҳалли ягонаи масъалаи (8) – (8') мебошад.

III. Бигузур муодилаи характериستيкии (11) дорои ду ҳалҳои ҳақиқии яхела ва ду ҳалҳои ҳақиқии гуногун бошад. Он гоҳ дар асоси теоремаи 1 функсия – асл $z(x)$ ин тавр муайян карда мешавад:

$$z(x) = \int_1^x \left[B_1 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} \ln \frac{x}{t} + B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] F(t) \frac{dt}{t}.$$

ё

$$z(x) = \int_1^x \left[B_1 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} \ln \frac{x}{t} + B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] D_t f(t) \frac{dt}{t}. \quad (20)$$

Методи қисм ба қисм интегрониho истифода намуда, ҳосил мекунем:

$$z(x) = \int_1^x \left[B_1 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} \left[p_1 \ln \frac{x}{t} + 1 \right] + p_3 B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + p_4 B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] f(t) \frac{dt}{t}, \quad (21)$$

ки ин ҳалли ягонаи масъалаи (8) – (8') мебошад.

IV. Бигузур муодилаи характериистикии (11) ду ҳалҳои комплекси хамроҳшуда ва ду ҳалҳои ҳақиқии гуногун дошта бошанд. Дар асоси теоремаи 1 функсия – асл $z(x)$ ин тавр муайян карда мешавад:

$$z(x) = \int_1^x \left[\left(\frac{x}{t} \right)^{\alpha_1} \left[B_1 \cos \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] + B_2 \sin \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] \right] + B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + B_4 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] F(t) \frac{dt}{t}.$$

ё

$$z(x) = \int_1^x \left[\left(\frac{x}{t} \right)^{\alpha_1} \left[B_1 \cos \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] + B_2 \sin \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] \right] + B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + B_4 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] D_t f(t) \frac{dt}{t}. \quad (22)$$

Қисм ба қисм интегронида, ҳосил мекунем:

$$z(x) = \int_1^x \left[\left(\frac{x}{t} \right)^{\alpha_1} \left[(\alpha_1 B_1 + \beta_1 B_2) \cos \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] - (\beta_1 B_1 - \alpha_1 B_2) \sin \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] + p_3 B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + p_4 B_4 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] f(t) \frac{dt}{t} \right]. \quad (23)$$

Аз дигар тараф, муҳимтар барои мо ёфтани ҳалли умумии муодилаи (8) мебошад.

Бо ин мақсад фарз менамоем, ки ба ҷои шартҳои сифрии (8') шартҳои ғайрисифрии

$$z(x)|_{x=1} = C_1, \quad D_x z(x)|_{x=1} = C_2, \quad D_x^2 z(x)|_{x=1} = C_3, \quad D_x^3 z(x)|_{x=1} = C_4 \quad (24)$$

дода шудаанд. Дар ин ҳолат $\mathcal{M}(p)$ чунин намудро мегирад:

$$Z(p) = \frac{p^3 + M_1 p^2 + M_2 p + M_3}{p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4} C_1 + \frac{p^2 + M_1 p + M_2}{p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4} C_2 + \frac{p + M_1}{p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4} C_3 + \frac{1}{p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4} C_4 + \frac{1}{p^4 + M_1 p^3 + M_2 p^2 + M_3 p + M_4} \Phi(p). \quad (25)$$

Баъд аз гузаронидани табдилотҳои мувофиқ дар мақолаи мазкур, решаҳои муодилаи характериистикии (11) дар ҷаҳор ҳолат, бо назардошти формулаҳои (17), (19), (21) ва (23) функсияи авваларо барои инъикоси $Z(p)$ дар намудҳои зерин барқарор мекунем:

$$z_{yF}^1(x) = c_1^1 x^{p_1} + c_2^1 x^{p_2} + c_3^1 x^{p_3} + c_4^1 x^{p_4} + \int_1^x \left[p_1 B_1 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} + p_2 B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_2} + p_3 B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + p_4 B_4 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] f(t) \frac{dt}{t}, \quad (26)$$

$$z_{yF}^2(x) = c_1^2 x^{p_1} + c_2^2 x^{p_1} \ln x + c_3^2 x^{p_1} \ln^2 x + c_4^2 x^{p_1} \ln^3 x - \frac{1}{6} \int_1^x \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} \left[p_1 \ln^3 \frac{x}{t} + 3 \ln^2 \frac{x}{t} \right] f(t) \frac{dt}{t}, \quad (27)$$

$$z_{yF}^3(x) = c_1^3 x^{p_1} + c_2^3 x^{p_1} \ln x + c_3^3 x^{p_3} + c_4^3 x^{p_4} + \int_1^x \left[B_1 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1} \left[p_1 \ln \frac{x}{t} + 1 \right] + p_3 B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + p_4 B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] f(t) \frac{dt}{t}, \quad (28)$$

$$z_{yF}^4(x) = x^{\alpha_1} [c_1^4 \cos[\beta \ln x] + c_2^4 \sin[\beta \ln x]] + c_3^4 x^{p_3} + c_4^4 x^{p_4} + \int_1^x \left[\left(\frac{x}{t} \right)^{\alpha_1} \left[\cos \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] - (\beta_1 B_1 - \alpha_1 C) \sin \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] \right] + p_3 B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3} + p_4 B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4} \right] f(t) \frac{dt}{t}, \quad (29)$$

ки дар ин баробариҳо $z_{yF}^i(x)$ – ишораи ҳалли умумии муодилаи ғайриякҷинса мебошад.

Теоремаи зерин ҳамин тавр исбот карда шуд.

Теоремаи 2. Бигузур дар муодилаи (8) тарафи рости он ва функсияи номаълум функсия – асл дар маънои Меллин бошанд. Инчунин, ҳалли ин муодила шартҳои ибтидоии (24) – ро қаноат намояд. Он гоҳ вобаста аз решаҳои муодилаи характеристикии (11) дар чор ҳолат ҳалли умумии муодилаи ғайриякҷинсаи (8) мувофиқан аз рӯи формулаҳои (26), (27), (28) ва (29) ёфта мешавад, ки дар ин ҷо c_i^j ($i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4$) – ададҳои доимии ихтиёрӣ мебошанд.

Ҳалли муодилаи интегро – дифференсиалии (1) – ро аз гузориши (3) бо назардошти формулаҳои (26), (27), (28) ва (29) дар чаҳор ҳолат меёбем:

$$y_{yF}^1(x) = c_1^1 x^{p_1+3} + c_2^1 x^{p_2+3} + c_3^1 x^{p_3+3} + c_4^1 x^{p_4+3} + \int_1^x \left[p_1 B_1 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1+3} + p_2 B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_2+3} + p_3 B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3+3} + p_4 B_4 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4+3} \right] t^2 f(t) dt,$$

$$y_{yF}^2(x) = c_1^2 x^{p_1+3} + c_2^2 x^{p_1+3} \ln x + c_3^2 x^{p_1+3} \ln^2 x + c_4^2 x^{p_1+3} \ln^3 x + \frac{1}{6} \int_1^x \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1+3} \left[p_1 \ln^3 \frac{x}{t} + 3 \ln^2 \frac{x}{t} \right] t^2 f(t) dt,$$

$$y_{yF}^3(x) = c_1^3 x^{p_1+3} + c_2^3 x^{p_1+3} \ln x + c_3^3 x^{p_3+3} + c_4^3 x^{p_4+3} +$$

$$\begin{aligned}
& + \int_1^x \left[B_1 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_1+3} \left[p_1 \ln \frac{x}{t} + 1 \right] + p_3 B_2 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3+3} + p_4 B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4+3} \right] t^2 f(t) dt, \\
y_{y^f}^4(x) &= x^{\alpha_1+3} [c_1^4 \cos[\beta \ln x] + c_2^4 \sin[\beta \ln x]] + c_3^4 x^{p_3+3} + c_4^4 x^{p_4+3} + \\
& + \int_1^x \left[\left(\frac{x}{t} \right)^{\alpha_1+3} \left[(\alpha_1 B_1 + \beta_1 B_2) \cos \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] - (\beta_1 B_1 - \alpha_1 B_2) \sin \left[\beta_1 \ln \left(\frac{x}{t} \right) \right] \right] + \right. \\
& \quad \left. + p_3 B_3 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_3+3} + p_4 B_4 \left(\frac{x}{t} \right)^{p_4+3} \right] t^2 f(t) dt.
\end{aligned}$$

Адабиёт

1. *Зарипов, С.Қ.* S – табдилоти интегралӣ ва тадбиқи он дар ҳалли муодилаҳои интегро-дифференсиалии сингулярӣ / *С.Қ. Зарипов* // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2019. – №1. – С. 100-104.
2. *Зарифзода С.К.* S – интегральное преобразование и его основные свойства / *С.К. Зарифзода* // Вестник Таджикского национального университета. – 2019. – № 1. – С. 50-56.
3. *Зарифзода, С.К.* Применения интегрального преобразования Меллина для решения сингулярных интегро-дифференциальных уравнений / *С.К. Зарифзода, С.Х. Умаров* // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2021. – № 3. – С. 17-27.
4. *Зарифзода, С.Қ.* Тадқиқи муодилаи интегро-дифференсиалии тартиби дуум бо ядрои сингулярӣ бо истифода аз табдилоти интегралӣ Меллин / *С.Қ. Зарифзода, С.Х. Умаров* // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2022. – №4. – С. 29-39.
5. *Зарифзода, С.Қ.* Оид ба як модификатсияи табдилоти интегралӣ Меллин ва баъзе тадбиқҳои он / *С.Қ. Зарифзода, С.Х. Умаров* // Паёми Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав. Силсилаи илмҳои табиӣ. – 2023. – №2/3 (114). – С. 5-14.
6. *Умаров С.Х.* Оид ба ёфтани табдилоти интегралӣ Меллин аз баъзе функсияҳои элементарӣ / *С.Х. Умаров, С.Қ. Зарифзода* // Паёми Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав. Силсилаи илмҳои табиӣ. – 2024. – №2/1 (120). – С. 9-15.
7. *Зарипов, С.К.* Об одном классе модельных интегро-дифференциальных уравнений первого порядка со сверхсингулярной точкой в ядре / *С.К. Зарипов* // Вестник Таджикского национального университета. – 2015. – №1/6 (191). – С. 6-12.

8. *Зарипов, С.К.* Решения одного класса модельных интегро-дифференциальных уравнений первого порядка с сингулярным ядром / *С.К. Зарипов* // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2017. – №1/1. – С. 34-37.
9. *Зарипов, С.К.* Об одной новой методике решения одного класса модельных интегро-дифференциальных уравнений первого порядка с сингулярным ядром / *С.К. Зарипов* // Математическая физика и компьютерное моделирование. Волгоградский государственный университет. – 2017. – Т. 20. – №4. – С. 68-75.
10. *Зарифзода, С.Қ.* Тадқиқи як синфи муодилаҳои интегро-дифференсиалӣ бо нуқтаи рости барзиёд сингулярӣ / *С.Қ.Зарифзода, Ҷ.Искандар* // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. – 2021. – №1. – С. 5-18.
11. *Умаров, С.Х.* Применение метода интегральных преобразований Меллина к решению одного класса интегродифференциальных уравнений второго порядка / *С.Х. Умаров, Зарифзода С.К.* // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию развития естественных, точных и математических наук 2020-2040 годы – Душанбе, 20 – 21 октября 2022 г. – С. 45-47.
12. *Умаров, С.Х.* Тадқиқи як синфи муодилаҳои интегро – дифференсиалии тартиби сеюм дар ҳолати решаҳои муодилаи характеристикӣ ҳақиқӣ ва яхела будан, бо ёрии методи табдилоти интегралӣ Меллин / *С.Х. Умаров* // Маҷмуаи мақолаҳои конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ – амалӣ дар мавзӯи «Масъалаҳои мубрами рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар замони муосир» бахшида ба «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (2020-2040). – Душанбе, 29 – уми ноябри соли 2022. –С. 276-278.
13. *Zarifzoda S.K.* Mellin Transform and Integro-Differential Equations with Logarithmic Singularity in the Kernel / *T.K. Yuldashev, S.K. Zarifzoda* // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2020. – Vol. – 41. – No. 9. – P. 1910-1917.
14. *Ditkin, V.A.* Integral Transformation and Operational Calculus / *V.A. Ditkin, A.P. Prudnikov.* – Pergamon, Oxford, London, Edinburg, 1965. – 529 p.
15. *Прудников, А.П.* Вычисление интегралов и преобразование Меллина / *А.П.Прудников, Ю.А.Брычков, О.И.Маричев*// Итоги науки и техники. Сер.: Мат. Анол. – 1989. – Том 27. – С.3-146.
16. *Gonzalez, O.G.* An α –Mellin transform and some of its applications / *O.G. Gonzalez, J.A. Santiago* // International Journal of Contemporary Mathematical Sciences. – 2012. – Vol. 7. – Pp. 2353- 2361.

17. *Al-Omari, Q.* On the distributional Mellin transformation and extension to Boehmiah spaces / *Q. Al-Omari* // International Journal of Contemporary Mathematical Sciences. – 2011. – Vol. 6. – Pp. 801-810.
18. *Zarifzoda S.K.* Volterra-Type Integro-Differential Equations With Two-Point Singular Differential Operator / *Zarifzoda S.K., Yuldashev T.K., Djumakhon I.* // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2021. – Vol. –42. – No. 15. – Pp. 3784-3792.
19. *Зарифзода С.К.* Получение явных решений дифференциального уравнения Римана второго порядка с тремя особыми точками / *С.К. Зарифзода* // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук – 2021. – № 3. – С. 116-131.
20. *Зарипов С.К.* Решения одного класса модельных интегро-дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка с сингулярным ядром / *Зарипов С.К., Раджабов Н.* // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2017. – Т. 60. – № 3-4. – С. 118-125.

ТАДЖИКИ МУОДИЛАИ ИНТЕГРО – ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ТАРТИБИ СЕЮМ БО ЯДРОИ СИНГУЛЯРӢ БО ИСТИФОДА АЗ ТАБДИЛОТИ ИНТЕГРАЛИИ МЕЛЛИН

Ғишшурда. Дар мақолаи пешниҳодшаванда як синфи муодилаҳои интегро-дифференсиалии тартиби сеюм бо ядрои махсус, бо истифода аз табдилоти интегралӣ Меллин мавриди тадқиқ қарор гирифтааст. Барои омӯхтани ин синфи муодилаҳо, пеш аз ҳама, бо ёрии гузориши мувофиқ он ба муодилаи операторӣ-дифференсиалие оварда мешавад, ки татбиқи табдилоти интегралӣ Меллин барои ҳалли он қулай мебошад. Дар рафти татқиқоти илмӣ гузаронидашуда муодилаи интегро-дифференсиалии омӯхташаванда ба муодилаи операторӣ-дифференсиалии тартиби чор иваз карда мешавад. Ҳалли муодилаи ҳосилшуда вобаста аз решаҳои муодилаи хarakterистикӣ дар чор ҳолат: ҳолати решаҳои муодилаи хarakterистикӣ ҳақиқӣ ва гуногун будан; ҳолати решаҳои муодилаи хarakterистикӣ ҳақиқӣ ва якхела будан; ҳолати решаҳои муодилаи хarakterистикӣ ду ҳалҳои ҳақиқӣ якхела ва ду ҳалҳои ҳақиқӣ гуногун будан; ҳолати решаҳои муодилаи хarakterистикӣ ду ҳалҳои комплексӣ ҳамроҳшуда ва ду ҳалҳои ҳақиқӣ гуногун будан, бо истифода аз табдилоти интегралӣ Меллин ёфта мешавад. Баъзан шартҳои муайян карда мешавад, ки бо иҷро шудани онҳо ҳалҳои ёфташуда ҳалли муодилаи аввалии интегро-дифференсиалӣ низ шуда тавонад. Вале маълум гардонида шуд, ки на ҳама вақт ҳалҳои ёфташуда, ҳалли муодилаи интегро-дифференсиалии аввала шуда метавонад. Инчунин, маълум карда шуд, ки муодилаи омӯхташаванда дар ҳолати умумӣ чор

адади доимии ихтиёро дар бар мегирад. Ғайр аз ин, мавҷудияти ҳолате низ муайян карда шуд, ки муодилаи омӯхташаванда дорои ҳалли ягона мебошад.

Калидвожаҳо: муодилаи интегро-дифференциалӣ, муодилаи операторӣ-дифференциалӣ, муодилаи характеристикӣ, табдилоти интегралӣ Меллин, ядрои махсус, функсия-асл, табдилоти интегралӣ баръакс Меллин.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА С СИНГУЛЯРНЫМ ЯДРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕЛЛИНА

Аннотация. В предлагаемой работе исследуется некоторый класс сингулярных интегро-дифференциальных уравнений третьего порядка, с помощью интегрального преобразования Меллина. Для исследования таких уравнений в начале с помощью подходящей подстановки это уравнение заменяется на соответствующее операторно-дифференциальное уравнение, для которого удобно будет применять преобразование Меллина. В процессе исследования изучаемое интегро-дифференциальное уравнение приводится к операторно-дифференциальному уравнению второго порядка. Решение полученного уравнения в зависимости от корней характеристического уравнения в четырёх случаях: в случае, когда корни характеристического уравнения являются вещественно – разными; в случае, когда корни характеристического уравнения являются вещественно – равными; в случае, когда две корни характеристического уравнения являются вещественно разными и два других корней являются вещественно равными, в случае когда две корни являются комплексно-сопряжёнными и две другие корни являются вещественно разными находится с помощью интегрального преобразования Меллина. Далее определяется некоторые условия, при выполнении которого полученное решение будет и решение первоначального интегро-дифференциального уравнения. Но с другой стороны, выясняется, что не всегда найденные решения операторно-дифференциального уравнения являются и в то же время решениями первоначального интегро – дифференциального уравнения. Также, выяснилось, что изучаемое уравнение в общем случае содержит четырёх произвольных постоянных. Также выделен случай, когда изучаемое уравнение имеет единственное решение.

Ключевые слова: интегро-дифференциальное уравнение, операторно-дифференциальное уравнение, характеристическое уравнение, интегральное преобразование Меллина, особый ядро, функция – оригинал, обратное интегральное преобразование Меллина.

STUDY OF INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION OF THE THIRD ORDER WITH SINGULAR NUCLEUS USING MELLIN INTEGRAL CONVERSION

Annotation. In the proposed work, a certain class of second order singular equations is investigated using the Mellin integral transform. For the investigation of such equations, first of all, using a suitable substitution, this equation is replaced by the corresponding operator-differential equation, which will be convenient to apply to the Mellin transformation. In the process of research, the studied integro-differential equation under study is reduced to a second-order operator-differential equation. The solution of the resulting equation, depending of the roots of the characteristic equation in three cases: when the roots of the characteristic equation are real and different; when the roots of the characteristic equation are real and equal; when two roots of the characteristic equation are real and different solutions and two others are real and equal solutions is found by using the Mellin transform. Further, there is established a condition fulfilment under which the obtained solution will be the solution of the first initial integro-differential equation. But in the other hand it's established that the found solution of operator – differential equation not allways will be the solution of integro – differential equation. Also, it is established that the studied equation in a general case contains two arbitrary constants. It's found the case, when the studied equation has a unique solution.

Key words: integro - differential equation, operator - differential equation, characteristic equation, the Mellin integral transform, special kernel, function – original, the invers Mellin integral transform.

Маълумот оид ба муаллифон:

Умаров Сайёд Хайдаралиевич – унвонҷӯи кафедраи математикаи ҳисоббарорӣ ва механикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** (+992) 987-38-30-35. **E-mail:** sayod-1995@mail.ru

Сведения об авторах:

Умаров Сайёд Хайдаралиевич – соискатель кафедры вычислительной математики и механики, Таджикский национальный университет. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 987-38-30-35. **E-mail:** sayod-1995@mail.ru

Information about the authors:

Umarov Sayyod Haidaralievich – Applicant for the Department of Computational Mathematics and Mechanics, Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaky avenue, 17. **Phone:** (+992) 987-38-30-35. **E-mail:** sayod-1995@mail.ru

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

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СИНГУЛЯРНО-ВОЗМУЩЁННЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Джуразода Х. Ш., *Ниёзов Ш. Д., **Умаров А.Н.

Таджикский национальный университет

*Кулябский государственный университет им. А. Рудаки

**Дангаринский государственный университет

Основываясь на методологиях, рассмотренных в [1,2], мы рассмотрим следующие примеры задач:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left(x \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (x,t) \in D. \quad (1)$$

Давайте предположим, что в начальный момент времени, $t=0$, у нас есть полное представление о распределении температуры по всему пространству:

$$T(x,0) = \varphi(x), \quad (2)$$

где $\varphi(x)$ - известная функция, зависящая от координаты x . Граничные условия в левой и правой частях, задаются следующим образом:

$$T_\varepsilon(0,t) = 0, \quad T_\varepsilon(L,t) = 0, \quad 0 \leq t \leq R, \quad (3)$$

Согласно методу искусственного преувеличения [3, 4], задачи (1) - (3) представляются в виде

$$\varepsilon c\rho \frac{\partial^2 T_\varepsilon}{\partial t^2} + c\rho \frac{\partial T_\varepsilon}{\partial t} = \frac{\lambda}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left(x \frac{\partial T_\varepsilon}{\partial x} \right), \quad (4)$$

$$T_\varepsilon(x,0) = \varphi(x), \quad \left. \frac{\partial T_\varepsilon}{\partial t} \right|_{t=0} = \psi(x), \quad 0 < x < L, \quad (5)$$

$$T_\varepsilon(0,t) = 0, \quad T_\varepsilon(L,t) = 0, \quad 0 \leq t \leq R, \quad (6)$$

Сначала мы используем энтальпийный метод. Вместо уравнений (4) мы используем уравнение для энтальпии H :

$$\varepsilon \frac{\partial^2 H_\varepsilon}{\partial t^2} + \frac{\partial H_\varepsilon}{\partial t} = \frac{1}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda x \frac{\partial T_\varepsilon}{\partial x} \right), \quad H_\varepsilon = c\rho T_\varepsilon. \quad (7)$$

Это уравнение решается с использованием явного метода. После вычисления H на каждом временном шаге определяется температура:

$$T_\varepsilon = \frac{H}{c\rho}.$$

Этот метод относительно прост в численной реализации и может быть применён к многомерным и сложным задачам.

Для численного решения задачи (4)-(6) мы используем метод конечных разностей [1]. Мы вводим единую пространственно-временную сетку в поле определения задачи, как описано в разделе 3.2, и следуем работам авторов [5, 6], то есть

$$t_m = ml; \quad m = 1, 2, \dots, M; \quad l = \frac{t_{\max}}{M}, \quad x_k = kh; \quad k = 0, 1, 2, \dots, N; \quad h = \frac{x_{\max}}{N}.$$

Для дискретизации уравнения (7) для соответствующего периода времени использовалась локально-одномерная схема, разделяющая координаты на пространственное и временное измерения. Были использованы соответствующие разностные аналоги частных производных первого и второго порядка по времени и пространству. Эти разностные аналоги с погрешностью аппроксимации $O(h^2)$ и $O(l^2)$, были получены в соответствии с теорией разностных схем [1, 2]), в котором имеет вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon \frac{H_k^{m+1} - 2H_k^m + H_k^{m-1}}{l^2} + \frac{H_k^{m+1} - H_k^{m-1}}{2l} = \\ = \lambda \cdot \frac{T_{k+1}^m - 2T_k^m + T_{k-1}^m}{h^2} + \frac{\lambda}{x} \cdot \frac{T_{k+1}^m - T_{k-1}^m}{2h}. \end{aligned} \quad (8)$$

где $H_k^m = c\rho T(x_k, t_m)$, $T_k^m = T(x_k, t_m)$. Для начального временного шага они определяются начальными условиями (5):

$$\begin{aligned} H_k^0 = c\rho T_k^0 = c\rho \varphi_k, \\ \frac{H_k^1 - H_k^0}{l} = c\rho \psi_k \quad (H_k^1 = c\rho(l\psi_k + \varphi_k)) \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (9)$$

Ниже приведён список требуемых значений для системы (8) в данный момент времени t_m : $H_{k-1}^{m+1}, H_k^{m+1}, H_{k+1}^{m+1}$.

Такой порядок позволяет нам вывести алгебраическую систему уравнений с диагональной матрицей из исходной системы уравнений (8). В этой новой системе каждая строка представляет определённый момент времени и может быть записана в общем виде. Используя эту систему, можно рассчитать энтальпии:

$$\begin{aligned} H_k^{m+1} = \frac{4\varepsilon}{2\varepsilon + l} H_k^m + \frac{l - 2\varepsilon}{2\varepsilon + l} H_k^{m-1} + \frac{\lambda l^2 (2x_k + h)}{h^2 x_k} T_{k+1}^m - \\ - \frac{4\lambda l^2}{h^2} T_k^m + \frac{\lambda l^2 (2x_k + h)}{h^2 x_k} T_{k-1}^m. \end{aligned} \quad (10)$$

Эта формула для фиксированного значения k выражает решение на $(m+1)$ -м временном слое в терминах решений на m -м и $(m-1)$ -м слоях. В отличие от

схем для уравнения теплопроводности, в которых используются только два временных слоя (m -й и $(m+1)$ -й), здесь нам нужны три слоя: $(m-1)$ -й, m -й и $(m+1)$ -й. Это соответствует пятиточечному узору, известному как "перекрёстный узор".

После чего температуры пересчитываются следующим образом, что позволяет учесть каждый слой:

$$T_k^{m+1} = \frac{1}{c\rho} H_k^{m+1}. \quad (11)$$

При записи в разностной форме начальное условие $H_\varepsilon(x, 0) = c\rho\varphi(x)$, $0 < x < L$, пишется в следующем виде:

$$H_k^0 = c\rho\varphi(x_k) = c\rho\varphi(kh), \quad k = 1, 2, \dots, N-1, \quad (12)$$

начальное условие $\left. \frac{\partial H}{\partial t} \right|_{t=0} = c\rho\psi(x)$, $0 < x < L$, применением правой разностной производной при $m=0$ пишется в виде:

$$H_k^1 = c\rho(l\psi(kh) + \varphi(kh)), \quad k = 1, 2, \dots, N-1, \quad (13)$$

краевые условия представляются в форме:

$$T_0^m = 0, \quad T_N^m = 0, \quad m = 0, 1, 2, \dots, M. \quad (14)$$

Соотношения (10)-(14) образуют трёхслойную разностную схему с точностью второго порядка как в l , так и в h . Это связано с тем, что соотношение (10) аппроксимирует дифференциальное уравнение второго порядка, что означает, что схема имеет аппроксимацию второго порядка. Схема условно устойчива, что означает, что она работает только при выполнении определённого условия $\frac{l}{h} \leq 1$.

Сравнение приведённого выше метода с другими методами. Мы провели сравнение, используя разработанный алгоритм, который вычисляет распределение температуры по радиальной координате, а также предоставляет время расчёта.

Расчёты проводились при следующих параметрах: $T = 50^0 \text{C}$;

$$c = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}; \rho = 2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \lambda = 1,85 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}; L = 330 \text{м}; K = 50 \text{с}.$$

На рис. 1 представлены распределения температуры по радиальной координате, рассчитанные различными методами.

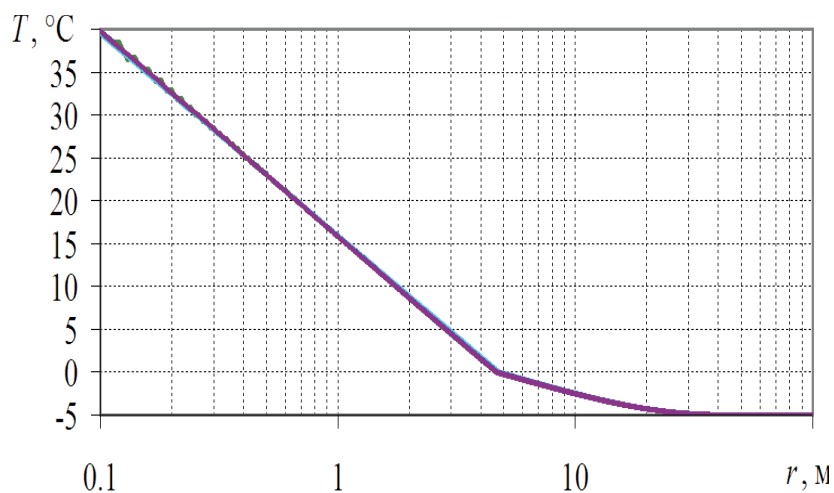


Рис.1. Распределения температуры по радиальной координате

На рис.1 показана динамика распространения температуры вдоль радиальной координаты. Изменение температуры вдоль доли координаты монотонно. Эти результаты аналогичны результатам, полученным в работах [7-9]. В работах [7, 8] было обнаружено, что существует качественная разница между динамикой температуры поверхности и объёмной долей твёрдой фазы в процессе кристаллизации при различных скоростях охлаждения. При высокой скорости охлаждения изменение температуры является монотонным. Однако при низкой скорости перепад температуры немонотонен. Такое поведение обусловлено выделением тепла при кристаллизации, которое незначительно при высоких скоростях и значительно при низких (см. рис. 2).

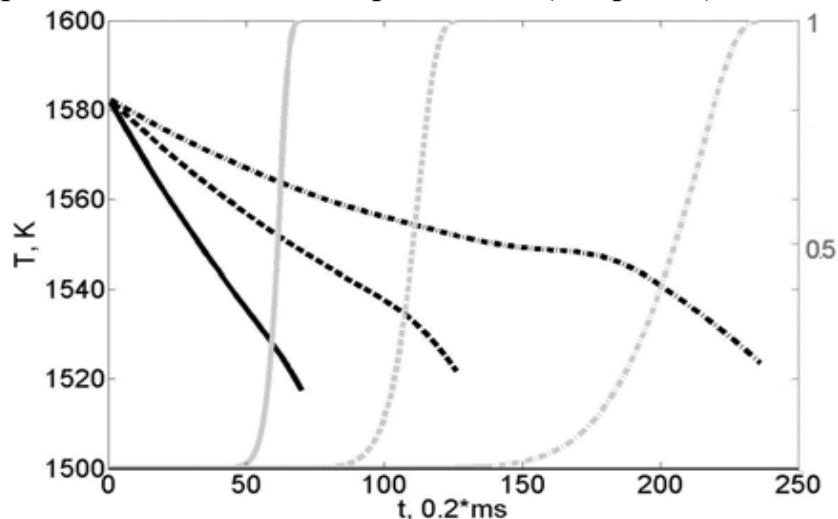


Рис. 3.2. Динамика температуры поверхности и объёмной доли твёрдой фазы для разных скоростей охлаждения 4500K/c (сплошные) и 2400K/c (пунктир) 1200K/c (точка-пунктир)

На рис. 3 приведено результаты из работы [9].

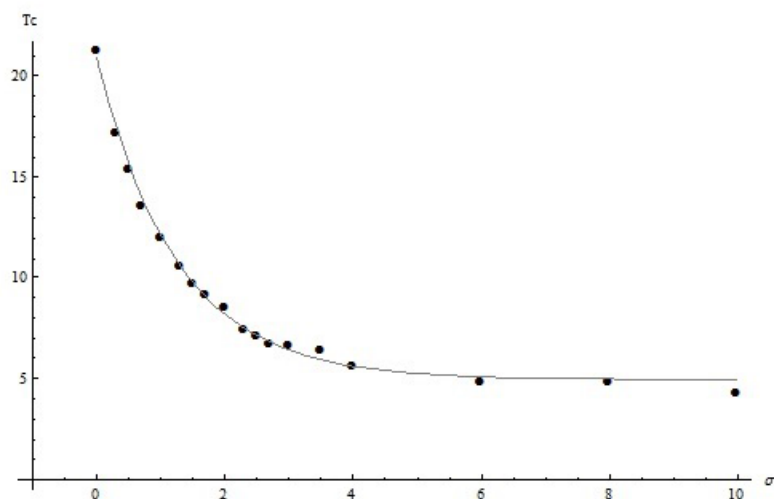


Рис.3. Динамики распределения температуры

Основываясь на результатах сравнительного анализа численного метода, мы можем сделать следующие выводы:

- использование явной схемы приводит к значительному увеличению времени расчёта. Шести-точечная симметричная схема может давать колеблющееся решение, поэтому предпочтительнее неявная схема;
- для одномерной модели процесса теплопроводности наиболее эффективным является неявный численный метод.

Литература

1. Самарский А.А. Теория разностных схем [Текст] / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
2. Киреев В. И. Численные методы в примерах и задачах: учеб. пособие. Изд. 2-е / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев // –М.: Высшая школа. -2006. - 480 с.
3. Джураев Х.Ш. Явления переноса энергии и массы в конденсированных средах: математическое моделирование, оптимизация, практические приложения: Монография. /Х.Ш.Джураев// -Душанбе: ЭР-гоаф. 2021. -236 с.
4. Джураев Х.Ш. Исследование процессов тепло и массопереноса в конденсированных средах методом искусственной гиперболизации /Х.Ш.Джураев, К. Комилов, З.С. Норматов// -Душанбе: -Изд-во «Сино». -2019. -101 с.
5. Джураев Х.Ш. Алгоритм численного решения сингулярных возмущённых нестационарных процессов теплопереноса при наличии внешнего постоянного источника средах / Х.Ш. Джураев, Ш.Д. Ниёзов // Материалы Международной научно-практической конференции на тему «Роль химии и химической промышленности в

ускоренной индустриализации страны», посвящённой провозглашению 2020-2040 годов «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» (24 мая 2024 года). – Душанбе: ТТУ им. М.С. Осими. - 2024. –С. 472-479.

6. *Джураев Х.Ш.* Модельное представление численного решения сингулярных возмущённых нестационарных процессов теплопереноса в неограниченных средах при наличии внешнего постоянного источника. / *Х.Ш. Джураев, Ш.Д. Ниёзов* // Материалы респ. научно-теоретической конф. преподавателей, сотрудников НИИ ТНУ посвящ. «30-летия принятия Конституции Республики Таджикистан» и «Годом правового просвещения» (22-27 апреля 2024 г.). - Душанбе: Изд-во ТНУ, 2024.– С.51-56.
7. *Grishaev R.V., Mirzade F.Kh., Khomenko M.D.* “Numerical modeling of heating and melting of microparticle under laser radiation” // *Perspectivnie materiali*, 2011, Special Vol №10, pp. 135-142
8. *Evteev A.V., Kosilov A.T., Levchenko E.V., Logachev O.B.* Kinetics of isothermal nucleation in supercooled melt of iron, *Fizikatvyordogotela*, 2006, Vol. 48, issue 5, pp. 557-582.
9. *Бирюков А.А.* Численное моделирование фазовых переходов в магнетиках /*А.А. Бирюков, Я.В. Дегтярева* // Информационные технологии и нанотехнологии. -2017. –С.1459-1464.

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СИНГУЛЯРНО-ВОЗМУЩЁННЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Аннотация. В этой статье мы рассмотрим задачу построения явной разностной схемы. Основная идея заключается в замене дифференциального уравнения волновой теплопроводности его конечно-разностной аппроксимацией. Это приводит к формулам, которые явно выражают значения решения на одном временном уровне в терминах значений решения на предыдущем временном уровне. Если решение известно в начальный момент времени, то можно шаг за шагом находить решение для всех последующих периодов времени.

В статье обсуждается использование сеточных методов и концепция временного слоя. Также рассматривается концепция источника в контексте проблемы.

Ключевые слова: температура, разностная схема, слой, сеточные методы, источник.

УСУЛҲОИ РАҚАМИИ ҲАЛЛИ РАВАНДҲОИ ҒАЙРИСТАЦИОНАРӢ- СИНГУЛЯРӢ БО ИСТИФОДА АЗ УСУЛИ ФАРҚИЯТҲОИ НИҲОӢ

Фиишурда. Дар ин мақола мо масъалаи сохтани схемаи фарқияти возеҳро дида мебароем. Ақидаи асосӣ дар иваз кардани муодилаи дифференсиалии гармидиҳии мавҷӣ бо тақрибан фарқияти он аст. Ин ба формулаҳое оварда мерасонад, ки арзишҳои ҳалли худро дар як сатҳи вақт дар робита ба арзишҳои ҳалли сатҳи қаблии вақт ба таври возеҳ ифода мекунанд. Агар ҳалли масъала дар лаҳзаи аввали вақт маълум бошад, пас шумо метавонед ҳалли худро барои ҳамаи давраҳои минбаъдаи вақт қадам ба қадам пайдо кунед.

Дар мақола истифодаи усулҳои шабакавӣ ва концепсияи қабати вақт муҳокима карда мешавад. Концепсияи манбаъ дар заминаи мушкилот низ баррасӣ карда мешавад.

Калимаҳои калидӣ: ҳарорат, схемаи фарқият, қабат, усулҳои шабакавӣ, манбаъ.

NUMERICAL METHODS FOR SOLVING SINGULARLY OBVIOUS NONSTATIONARY HEAT CONDUCTION PROCESSES USING THE FINITE DIFFERENCE METHOD

Annotation. In this paper, we consider the problem of constructing an explicit difference scheme. The main idea is to replace the differential equation of wave thermal conductivity with its finite-difference approximation. This leads to formulas that explicitly express the values of the solution at one time layer in terms of the values of the solution from the previous time layer. If the solution is known at the initial time, it is then possible to find the solution systematically for all subsequent times.

The paper discusses the use of grid methods and the concept of a time layer. It also explores the concept of a source in the context of the problem.

Keywords: temperature, difference scheme, layer, grid methods, source.

Сведения об авторах:

Джӯраев Хайрулло Шароф – д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник НИИ ТНУ. Адрес: Республика Таджикистан, г. Душанбе. E-mail: hayrullo_58@mail.ru;

Ниёзов Шокир Давлатович – Кулябский государственный университет им. А. Рудаки, Адрес: Республика Таджикистан, г. Куляб.

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

Маълумот дар бораи муаллифон:

Љӯраев Хайрулло Шароф – д.и.ф.м., профессор, сарҳодими илмии Институти илмӣ татқиқотии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Суроға: Ҷумҳурии Тоҷикистон, Душанбе. E-mail: hayrullo_58@mail.ru;

Ниезов Шокир Давлатович – Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи а. А. Рӯдакӣ, **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, Шаҳри Кӯлоб.

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

Information about the authors:

Juraev Khayrullo Sharof – Doctor F.M.S., Professor, Chief Researcher at the TNU Research Institute. **Address:** Republic of Tajikistan. Dushanbe. E-mail: hayrullo_58@mail.ru;

Shokir Davlatovich Niyazov – Kulyab State University named after A. Rudaki, **Address:** Republic of Tajikistan, Kulyab.

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

ПАЙДОИШИ АДАДИ π ВА ИСТИФОДАИ ОН ДАР КИТОБИ

“ИБТИДО”-И УҚЛИДУС (ЕВКЛИД)

Ойев С.Я.

Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон

Дар ин мақола роҳҳои пайдоиши адади π баррасӣ мешаванд, ки аҳамияти илмӣ ва амалӣ доранд. Қайд кардан муҳим аст, ки адади π дар ҳалли мисолу масъалаҳои гуногуни математикӣ истифода мешавад.

Архимед, яке аз бузургтарин ақлҳои замони худ, на танҳо адади π -ро муайян кард, балки барои омӯзиш ва истифодаи он заминаи илмӣ фароҳам овард. Ӯ бо истифода аз усулҳои инноватсионӣ, аз ҷумла “усули хасташавӣ”, π -ро бо тақсим кардани доира ба бисёркунҷаҳои дарунӣ ва берунии мунтазам ҳисоб кард. Ин усул ба Архимед имкон дод, ки ҳудуди π -ро бо дақиқии баланд муайян кунад. Ӯ нишон дод, ки агар доира ба 96 тараф тақсим шавад, арзиши π ба таври дақиқтар байни $223/71$ ва $22/7$ қойгир мешавад. Ин ҳудуди математикӣ на танҳо барои замони худ инқилобӣ буд, балки барои рушди минбаъдаи математика ҳамчун асос хизмат кард. Ӯ аввалин шуда дарк кард, ки таносуби дарозии доира ба диаметри он новобаста аз андозаи доира бетағйир боқӣ мемонад. Ин кашфиёт як инқилоби воқеӣ дар математика буд, зеро он имконият дод, ки шаклҳои геометрӣ бо арзишҳои рақамӣ пайваст кунанд. Архимед нишон дод, ки ҷаҳони атрофи мо ба қонунҳои математикӣ асос ёфтааст ва геометрия воситаи муҳиме барои фаҳмидани воқеият мебошад.

Архимед на танҳо “усули хасташавӣ”-ро истифода кард, балки ба усулҳои дигари ҷолиб низ муроҷиат намуд, ки дар он замон бесобиқа буданд. Вай таносуби давр ба диаметри доираро бо истифода аз бисёркунҷаҳои мунтазामी дохилӣ ва берунӣ ҳисоб карда, бисёркунҷаҳои мунтазामी то 96-тарафаро ба кор бурд. Бо зиёд кардани шумораи тарафҳои бисёркунҷаҳо, Архимед тавонист тақрибан ба арзиши воқеии π наздик шавад.

Барои ба ин натиҷа расидан, Архимед аввал ҳисоб карда буд, ки нисбатҳои асосии таносуб байни периметри бисёркунҷаҳои дарунӣ ва берунии дохилшуда дар доира чӣ гуна тағйир меёбанд. Вай нишон дод, ки ин таносуб ҳудуди адади π -ро муайян мекунад. Ин метод ба ӯ имконият дод, ки барои арзиши π маҳдудиятҳо пешниҳод кунад, ки дар тӯли асрҳо аз ҷониби олимони минбаъда истифода мешуданд.

Истифодаи бисёркунчаҳо: Масалан, агар доира бо радиус $r=1$ дошта бошем, периметри бисёркунҷаи дохилии шашкунҷа $P_i=3\sqrt{3}$ ва периметри бисёркунҷаи берунии шашкунҷа $P_o=2\pi$ хоҳад буд. Ин периметрҳо ҳамчун маҳдудиятҳои аввали арзиши π ҳисобида мешуданд.

Илова бар ин, Архимед боз як натиҷаи муҳимро пешниҳод кард, ки ба усули амалии ҳисоб алоқаманд аст. Ӯ барои аввалин бор нишон дод, ки арзиши π на танҳо аз ҷиҳати назариявӣ муҳим аст, балки дар ҳисобҳои амалӣ, ба монанди сохтмони муҳандисӣ ва дарёфт кардани масофаҳо, низ нақши асосӣ мебозад. Масалан, дар муайян кардани ҳаҷм ва майдони сатҳи объектҳои мунаввар, усули Архимед барои дақиқ кардани ҳисобҳо ба кор бурда мешуд.

Ҳисоб кардани π бо истифодаи бисёркунҷаҳои 96-тарафа: Архимед ҳисоб кард, ки периметрҳои бисёркунҷаҳои дохилӣ ва берунии 96-тарафа тақрибан ба арзиши воқеии π наздик мешаванд:

$$P_i=3.1410, P_o=3.1427, P_i = 3.1410, \quad P_o = 3.1427.$$

Ҳамин тариқ, ӯ натиҷа гирифт, ки $3.1410 < \pi < 3.1427$, ки ба дақиқии хеле баланд барои замони худ мувофиқ буд.

Ҳалли мисоли амалӣ бо усули Архимед: Агар диаметри доира $d=10$ бошад, бо истифода аз усули Архимед, даври доира тақрибан чунин хоҳад буд:

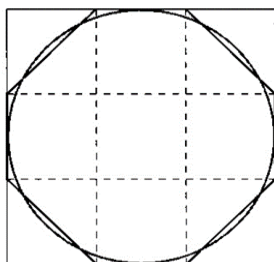
$$L \approx 22 \frac{7}{10} \times 10 = 31.43.$$

Ин натиҷа ба арзиши ҳозираи π (3.14159...) хеле наздик аст ва нишон медиҳад, ки Архимед асосҳои дақиқи математикиро истифода мебурд.

Пайдоиши адади π

Дар нимаи дуюми асри XIX, Генри Ринд, як муҳаққиқи англис, папирусеро, ки ба соли 1650 пеш аз милод тааллуқ дошт, кашф кард. Ин санад, ки бо номи «Папируси Ринд» машҳур аст, дорои маҷмӯи масъалаҳои математикӣ буд, ки барои ҳисоб кардани ҳаҷм ва майдони объектҳо, махсусан объектҳои шакли цилиндрӣ, истифода мешуданд. Аҳамияти ин папирус дар он аст, ки он яке аз аввалин матнҳои хаттӣ оид ба математика мебошад, ки на танҳо амалҳои ҳисобиро, балки усулҳои тақрибии ҳалли онҳо, ба монанди ҳисоб кардани майдони доира бо истифодаи арзиши тақрибии π , нишон медиҳад. Котиб Ахмес, муаллифи ин папирус, бо роҳи таҷрибавӣ ва усулҳои содда қимати тақрибии π -ро муайян кардааст, ки он қадами муҳиме дар рушди математикаи қадим ба ҳисоб меравад. Ин санад, ки баъдан ба номи ӯ гузошта шуд, нусхаи папируси боз ҳам қадимтар аз соли 1800 пеш аз милод буд. Муаллифи он, котиб Ахмес, ҳангоми ҳисоб

кардани майдони доираи пояи цилиндр барои нигоҳ доштани ғалла, арзиши адади π -ро тақрибан дақиқ пешниҳод намуд. Дар замонҳои қадим ин адад одатан ба 3 баробар ҳисобида мешуд, аммо Ахмес Ҳангоми тақсим кардани давра ба ҳашткунҷа, қимати дақиқтари π -ро пешниҳод кард.



Барои мисол, як мураббаъро ба нӯҳ қисм тақсим намуда, паҳлуи ҳар як қисми он ба се баробар мешавад. Чор секунҷаи росткунҷаро, ки бо кашидани диагональҳо ҳосил мешаванд, хориҷ мекунем. Майдони ҳашткунҷаи боқимонда чунин хоҳад буд:

$$9^2 - 4 \times 3 \times 3 = 81 - 18 = 63. 9^2 - 4 \times \frac{3 \times 3}{2} = 81 - 18 = 63.$$

Ҳамчунин, агар доирае бо диаметри 9 қисм бо майдони 64 қисм мавҷуд бошад, пас таносуби тақрибии π чунин муайян мешавад:

$$\pi \approx 64 \left(\frac{9}{2} \right)^2 = 1692 \approx 3.16 \cdot \pi \approx \frac{64}{\left(\frac{9}{2} \right)^2} = \frac{16}{9} \approx 3.16.$$

Муҳимияти кашфиёти Архимед

Архимед дар асари худ “Дар бораи андозагирии доира” ду натиҷаи муҳимро пешниҳод кард:

Таносуби L/d , ки байни даври L ва диаметри d вуҷуд дорад, ба арзиши $\frac{223}{71} < L/d < \frac{22}{7}$ маҳдуд мешавад. Масалан, агар диаметри доира 14 бошад, даври он метавонад бо тақриб чунин ҳисоб шавад: $L \approx \frac{22}{7} \times 14 = 44. L \approx \frac{22}{7} \times 14 = 44$. Ин нишон медиҳад, ки арзиши π бо тақриби $\frac{22}{7}$ ба ҳисоб мувофиқ аст.

Майдони доира S бо майдони секунҷаи рости T баробар аст, ки пойҳояш радиуси r ва даври L мебошанд. Масалан, агар радиуси доира $r=7$ ва даври он $L=44$ бошад, майдони секунҷа чунин мешавад: $T = \frac{1}{2} \times r \times L = \frac{1}{2} \times 7 \times 44 = 154. T = \frac{1}{2} \times 7 \times 44 = 154$. Ҳамин тариқ, майдони доира низ $S=154$ мебошад, ки мувофиқати байни ин ду мафҳумро нишон медиҳад.

Таносуби L/d , ки байни даври L ва диаметри d вуҷуд дорад, ба арзиши $\frac{223}{71} < L/d < \frac{22}{7}$ маҳдуд мешавад.

Майдони доира S бо майдони секунҷаи рости T баробар аст, ки пойҳояш радиуси r ва даври L мебошанд.

Дар исботи пешниҳоди дуум Архимед аз усули “хасташавӣ” истифода кард, ки онро Уқлидус низ дар китобҳои худ ба кор бурдааст. Ӯ

нишон дод, ки агар $S > TS > T$ ё $S < TS < T$, ҳар ду ҳолат ба зиддият мебаранд, бинобар ин, $S = TS = T$ бояд дуруст бошад.

Қимати адади π ва хулосаҳои илмӣ

Архимед дарҳол ба хулосаҳои муҳим расид. $\bar{U}$ нишон дод, ки таносуби байни майдони доира SS ва радиуси он r^2 ва таносуби байни даври LL ва диаметри он dd бо ҳам баробар буда, бо ҳарфи π ишора мешавад:

$$S/r^2 = L/d = \pi.$$

Ин таносуби асосӣ имрӯз низ барои ҳалли масъалаҳои геометрӣ ва тригонометрӣ васеъ истифода мешавад. Дар физика, масалан, адади π барои ҳисоб кардани басомади ҳаракати мавҷҳо, қувваи электрӣ дар схемаҳои даврӣ ва таҳқиқи спектри нур истифода мешавад. Дар муҳандисӣ, π барои тарҳрезии механизмҳои гардишӣ, ҳисоб кардани моментҳои қувва, ва моделсозии конструкцияҳои мудаввар, ба монанди турбинаҳои шамоли ва муҳаррикҳои реактивӣ, истифодаи васеъ дорад. Адади π дар ҳисоб кардани майдон, ҳаҷм, ва масофаҳо нақши муҳим дорад.

Хулоса. Аз замонҳои қадим то имрӯз, олимони барои дақиқтар муайян кардани адади π саъй кардаанд. Архимед ва дигар бузургони математика, ба монанди Евдокс ва Уқлидус, дар пешбурди илм нақши бебаҳое доштанд. Имрӯз адади π яке аз бузургтарин асосҳои математика мебошад, ки дар тамоми соҳаҳои илм ва технология истифода мешавад. Масалан, адади π дар муҳандисии сохтмон барои тарҳрезии конструкцияҳои мудаввар, ба монанди пулҳо ва антеннаҳо, нақши муҳим мебозад. Дар технологияҳои кайҳонӣ, адади π барои ҳисоб кардани мадорҳо ва масофаҳои байни ситораҳо истифода мешавад. Ҳамчунин, дар технологияҳои рақамӣ, ба мисли алгоритмҳои графикӣ ва моделсозии физикии объектҳо, адади π барои ҳисоб кардани андозаҳои дақиқ истифода мегардад.

Адабиёт

1. Белл Е.Т. "Los grandes matemáticos", Буэнос-Айрес, Лосада, 2010.
2. Бойер С. "Таърихи математика", Мадрид, Таҳрири Алианза, 2007.
3. Eggers LAN C. "El nacimiento de la matemática en Grecia", Буэнос-Айрес, Эудеба, 1995.
4. Хилберт Д. "Асосҳои ҷандаса", Мадрид, Centro Superior de Investigaciones Científicas, 1953.
5. Клайн М. "Математика: La pérdida de la Certidumbre", Мадрид, Сигло XXI, 1985.
6. Корнер С. "Муқаддима як la filosofía matemática", Мексика, Сигло XXI, 1967.

7. *Пуэртас Кастанос М.Л.* "Элементҳо", Мадрид, Гредос, 1991-1996.
8. *Пла и Каррера Ч.* "La veritat Matemàtica", Барселона, Реал Академияи Табибон, 2003.
9. *Лю Хуэй.* "Нӯҳ боб оид ба математикаи чинӣ", Мадрид, Нивола, 2009.

ПАЙДОИШИ АДАДИ π ВА ИСТИФОДАИ ОН ДАР КИТОБИ “ИБТИДО”-И УҚЛИДУС (ЕВКЛИД)

Фишурда. Дар мақола пайдоиш, таърих ва аҳамияти адади π мавриди баррасӣ қарор гирифтааст. Махсусан, методҳои Архимед барои ҳисоб кардани арзиши π ва таъсири он ба рушди математикаи классикӣ шарҳ дода шудаанд. Муаллиф истифодаи адади π -ро дар математика, физика, муҳандисӣ ва дигар соҳаҳои илм, инчунин аҳамияти он дар таърихи математика бо истинод ба папируси Ринд ва дигар манбаъҳои қадим баррасӣ мекунад. Мақола инчунин мисолҳои амалӣ ва ҳисобҳои математикӣ барои дарки беҳтари арзиши π пешниҳод менамояд. Адади π ҳамчун як адади универсалӣ, ки дар тамоми соҳаҳои илм ва технология нақши муҳим мебозад, таъкид шудааст.

Калимаҳои калидӣ: адади π , Архимед, усули хасташавӣ, математикаи қадим, папируси Ринд, ҳисобҳои дақиқ, технологияи муосир.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЧИСЛА π И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КНИГЕ «НАЧАЛА» ЕВКЛИДА

Аннотация. В статье рассматриваются происхождение, история и значение числа π . Особое внимание уделяется методам Архимеда для вычисления значения π и его влиянию на развитие классической математики. Автор описывает применение числа π в математике, физике, инженерии и других науках, а также его роль в истории математики с упоминанием папируса Ринда и других древних источников. Также приводятся практические примеры и математические расчёты для лучшего понимания значения π . Число π подчёркивается как универсальная величина, играющая важную роль во всех областях науки и технологий.

Ключевые слова: число π , Архимед, метод исчерпания, древняя математика, папирус Ринда, точные вычисления, современные технологии.

THE ORIGIN OF THE NUMBER π AND ITS USE IN EUCLID'S BOOK «ELEMENTS»

Annotation: The article explores the origins, history, and significance of the number π , highlighting its scientific and practical importance. Special attention is given to Archimedes' innovative methods for calculating π , including the method of exhaustion, which allowed him to approximate π with remarkable accuracy by

inscribing and circumscribing polygons around a circle. The paper also discusses the role of π in ancient and modern mathematics, citing historical sources such as the Rhind Papyrus. Furthermore, it provides practical examples and mathematical calculations to illustrate the applications of π in various fields, such as geometry, physics, and engineering. Emphasis is placed on π 's universal nature and its critical role in shaping scientific and technological advancements.

Keywords: number π , Archimedes, method of exhaustion, ancient mathematics, Rhind papyrus, accurate calculations, modern technology.

Маълумот дар бораи муаллиф:

Ойев Саид Ятимович – муаллими калони кафедраи риёзиёт дар иқтисодиёт, Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон. **Суроға:** шаҳри Душанбе, хиёбони Борбад 48/28, Ҷумҳурии Тоҷикистон. **Тел: (+992) 909446262.**

Информация об авторе:

Ойев Саид Ятимович – старший преподаватель кафедры математики экономики Международного университета туризма и предпринимательства Таджикистана. **Адрес:** город Душанбе, проспект Борбад 48/28, Республика Таджикистан. **Тел.: (+992) 909446262.**

Information about the author:

Oyev Said Yatimovich – is a senior lecturer at the Department of Mathematics of Economics at the International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan. **Address:** 48/28 Borbad Avenue, Dushanbe, Republic of Tajikistan. **Phone:** (+992) 909446262.

Муққариз: Исматӣ М. – д.и.ф.-м., профессор, Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон

ҲИСОБ НАМУДАНИ ИНТЕГРАЛҲОИ ҒАЙРИХОС АЗ ФУНКСИЯИ ТАҒИРЁБАНДАИ ҲАҚИҚИДОШТА БО ЁРИИ ТАФРИҚҲО

Раҳмонов Б.А., Бозорзода Ш.

Институти математикаи ба номи А.Чӯраеви АМИТ

Назарияи тафриқҳо, ки яке аз қисмҳои асосии назарияи функцияҳои тағирёбандашон комплексӣ мебошад, дар дигар қисмҳои гуногуни математика истифода мешавад. Дар ин мақола мо тадқиқи назарияи тафриқҳоро дар раванди ҳисобкунии интегралҳои муайяни ғайрихосро дида мебароем, ки ёфтани функцияи ибтидоӣ барои функцияи таҳтиинтегралро талаб наменамояд. Барои фаҳмотар шудани ҳисобкуниҳо дар ин раванд зарур аст, ки аввал интегралҳои ҳисобшавандаро ба навъҳо ҷудо намоем ва барои ҳар намуна аз рӯи алгоритми ба ҳудаш мувофиқро амал намоем. Дар ин мақола мо танҳо панҷ намуди чунин интегралҳоро баррасӣ мекунем.

Хотиррасон менамоем, ки агар z_0 – нуқтаи махсуси охиринокӣ ҷудошудаи функцияи аналитикии $f(z)$ бошад, онгоҳ чунин атрофи и сурухшудаи $U = \{0 < |z - z_0| < \delta\}$ -и нуқтаи z_0 мавҷуд аст, ки дар он (ба истиснои нуқтаи z_0) функцияи $f(z)$ аналитикӣ мебошад. Дар ин ҳолат дар асоси теоремаи Коши қимати интеграл

$$\frac{1}{2\pi i} \oint_{\gamma^+} f(z) dz, \quad (1)$$

ки дар инҷо γ дилхоҳ контури сарбасте мебошад, ки дар дохили U меҳобад ва нуқтаи z_0 -ро дар дохили худ дарбар мегирад, аз интиҳоби контури γ вобастагӣ надорад. Қимати интеграл (1) **тафриқи функцияи $f(z)$ нисбат ба нуқтаи махсуси z_0** номида мешавад ва бо яке аз ифодаҳои зерин ишора карда мешавад:

$$\operatorname{res}_{z=z_0} f(z), \quad \operatorname{res} f(z_0), \quad \operatorname{res}_{z_0} f(z), \quad \operatorname{res} [f(z); z_0].$$

Дар ин мақола мо аз ифодаи $\operatorname{res}_{z=z_0} f(z)$ истифода мебарем.

Барои омӯختани назарияи тафриқҳо мо адабиёти [1-4]-ро тавсия медиҳем. Масъалаҳо барои кори мустақилонаро аз адабиёти [5-9] ёфтан мумкин аст.

Акнун ба омӯхтани навъҳои интегралҳои ғайрихос аз функсияҳои тағирёбандаи ҳақиқӣ мегузарем.

Навъи 1. Интегралҳои намуди

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx,$$

ки ин ҷо $f(x)$ -функсияи ратсионалӣ ва бефосила дар тири ҳақиқӣ мебошад.

Теоремаи зерин ҷой дорад:

Теоремаи 1. *Бигузор $f(z)$ – функсияи аналитики дар нимҳамвории болоӣ бошад илова бар ин ба истиснои шумораи маҳдуди нуқтаҳои махсуси $z_1, z_2, \dots, z_m$ ва функсияи бефосила дар тири ҳақиқӣ бошад. Бигузор, илова бар ин, ҳудуди охиринок*

$$\lim_{z \rightarrow \infty} z^2 f(z)$$

мавҷуд бошад, он гоҳ баробарии зерин ҷой дорад:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 2\pi i \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} f(z). \quad (2)$$

Мисоли 1. Интегралро ҳисоб кунед

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x^2 + 1}{x^4 + 1} dx.$$

Ҳал. Функсияи $f(z) = \frac{z^2+1}{z^4+1}$ шарти теоремаи 1 – ро қонеъ мегардонад.

Он дорои 4 қутб мебошад, ки дутои онҳо $z_1 = e^{i\pi/4}$ ва $z_2 = e^{3i\pi/4}$ дар нимҳамвории болоӣ ҷойгир мебошанд. Тафриқҳои ин нуқтаҳоро бо истифода аз формулаи зерин меёбем:

$$\operatorname{res}_{z=z_k} f(z) = \frac{\varphi(z_k)}{\psi'(z_k)}.$$

$$\operatorname{res}_{z=z_1} f(z) = \frac{\varphi(z_1)}{\psi'(z_1)} = \frac{z_1^2 + 1}{4z_1^3} = -\frac{z_1(z_1^2 + 1)}{4} = -\frac{1}{4}(e^{3i\pi/4} + e^{i\pi/4}) = -\frac{\sqrt{2}}{4}i.$$

$$\operatorname{res}_{z=z_2} f(z) = \frac{\varphi(z_2)}{\psi'(z_2)} = \frac{z_2^2 + 1}{4z_2^3} = -\frac{z_2(z_2^2 + 1)}{4} = -\frac{1}{4}(e^{9i\pi/4} + e^{3i\pi/4}) = -\frac{\sqrt{2}}{4}i.$$

Бо истифода аз формулаи (2) ҳосил мекунем

$$I = 2\pi i \left(\operatorname{res}_{z=z_1} f(z) + \operatorname{res}_{z=z_2} f(z) \right) = -2\pi i \cdot 2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{4}i = \pi\sqrt{2}.$$

Навъи 2. Интегралҳои намуди

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cos \lambda x dx, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \sin \lambda x dx$$

интегралҳое мебошанд, ки ҳисобкунии онҳо ба ҳисобкунии интегралҳои намуди

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{i\lambda x} dx$$

оварда мешаванд.

Ҳангоми ҳисоб намудани ин гуна интегралҳо аз леммаи Жордан истифода мебарем.

Леммаи Жордан. Бигузор $f(z)$ — функцияи аналитикӣ дар нимҳамвории болоии $(0 < \arg z < \pi)$ ба истиснои шумораи охириноки нуқтаҳои махсус бошад ва ҳангоми $|z| \rightarrow \infty$ будан дар ин нимҳамворӣ ба сифр майл мекунад. Он гоҳ барои дилхоҳ $\lambda > 0$ баробарии зерин ҷой дорад:

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \int_{\gamma_R} f(z) e^{i\lambda z} dz = 0,$$

ки ин ҷо контури γ_R нимдавраест, ки дар нимҳамвории болоии марказаш дар нуқтаи 0 ва радиусааш баробари R мебошад.

Мисоли 2. Интегралро ҳисоб кунед

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x \cos x}{x^2 - 2x + 10} dx.$$

Ҳал. Функцияи ёридиҳандаи зеринро ворид месозем:

$$f(z) = \frac{ze^{iz}}{z^2 - 2z + 10}.$$

Дар ин ҷо ба осонӣ дидан мумкин аст, ки агар $z = x$ бошад, пас $\operatorname{Re} f(x)$ бо функцияи таҳтиинтегралӣ $\varphi(x) = \frac{x \cos x}{x^2 - 2x + 10}$ мувофиқ меояд. Контури сарбастеро, ки бо ёрии порчаи $[-R, R]$ ва нимдавраи γ_R сохта шудааст, дида мебароем. Ҳангоми кифоякалон будани R дар контури γ_R функцияи $g(z) = \frac{z}{z^2 - 2z + 10}$ нобаробарии

$$|g(z)| = \frac{|z|}{|z|^2 - 2|z| - 10} = \frac{R}{R^2 - 2R - 10}$$

—ро қонё мекунад. Аз ин ру, функсияи $g(z)$ ҳангоми $|z| \rightarrow \infty$ будан дар ин нимҳамворӣ ба сифр майл мекунад ва мувофиқи леммаи Жордан баробарии зерин ҷой дорад

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \int_{\gamma_R} \frac{ze^{iz}}{z^2 - 2z + 10} dz = 0. \quad (3)$$

Функсияи $g(z)$ дар нимҳамвории болоӣ дар нуқтаи $z_1 = 1 + 3i$ дорои қутби оддӣ мебошад. Бинобар ин ҳангоми кифоякалон будани R бо истифода аз теоремаи асосии тафриқҳо ҳосил мекунем

$$\begin{aligned} \int_{-R}^R \frac{xe^{ix}}{x^2 - 2x + 10} dx + \int_{\gamma_R} \frac{ze^{iz}}{z^2 - 2z + 10} dz &= 2\pi i \operatorname{res}_{z=z_1} \left[\frac{ze^{iz}}{z^2 - 2z + 10} \right] = \\ &= 2\pi i \lim_{z \rightarrow z_1} \left[(z - z_1) \frac{ze^{iz}}{z^2 - 2z + 10} \right] = 2\pi i \frac{z_1 e^{iz_1}}{z_1 - 1 + 3i} = \frac{\pi}{3} (1 + 3i) e^{-3+i}. \end{aligned}$$

Ҳангоми $R \rightarrow \infty$ ба ҳудуд гузашта бо назардошти (3) ҳосил мекунем

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{xe^{ix}}{x^2 - 2x + 10} dx = \frac{\pi}{3} (1 + 3i) e^{-3+i}.$$

Баъд аз табдилдиҳӣ ва ҷудо намудани қисмҳои ҳақиқӣ ва мафҳум ҳосил мекунем

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{x \cos x}{x^2 - 2x + 10} dx = \frac{\pi}{3} e^{-3} (\cos 1 - 3 \sin 1).$$

Навъи 3. Интегралҳои намуди

$$\int_0^{2\pi} f(\cos t, \sin t) dt,$$

ки ин ҷо $f(x, y)$ — функсияи ратсионалӣ буда дар давраи $x^2 + y^2 = 1$ дорои қутб намебошад.

Тағйирёбандаи комплекси $z = x + iy = e^{it}$ -ро дохил менамоем, он гоҳ мувофиқи формулаи Эйлер

$$\cos t = \frac{e^{it} + e^{-it}}{2} = \frac{1}{2} \left(z + \frac{1}{z} \right), \quad \sin t = \frac{e^{it} - e^{-it}}{2i} = \frac{1}{2i} \left(z - \frac{1}{z} \right).$$

Аз ин рӯ

$$f(\cos t, \sin t) = f\left(\frac{1}{2}\left(z + \frac{1}{z}\right), \frac{1}{2i}\left(z - \frac{1}{z}\right)\right).$$

Дар ҳолати тағйирёбандаи t ҳудудҳои интегронӣ аз 0 то 2π буд ва дар ҳолати ба тағйирёбандаи z гузаштан он ба давари радиусаш баробари 1 иваз мешавад, яъне

$$\int_0^{2\pi} f(\cos t, \sin t) dt = \oint_{|z|=1} f\left(\frac{1}{2}\left(z + \frac{1}{z}\right), \frac{1}{2i}\left(z - \frac{1}{z}\right)\right) \frac{1}{iz} dz,$$

ки дар ин ҷо $dt = \frac{1}{iz} dz$, $dz = ie^{it} dt = iz dt$ мебошад.

Инак, мувофиқи теоремаи асосии тафриқҳо ҳосил мекунем

$$\begin{aligned} \int_0^{2\pi} f(\cos t, \sin t) dt &= 2\pi i \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} f(z) \\ &= 2\pi \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} \frac{1}{z} f\left(\frac{1}{2}\left(z + \frac{1}{z}\right), \frac{1}{2i}\left(z - \frac{1}{z}\right)\right), \quad (4) \end{aligned}$$

ки ин ҷо сумма дар қутбҳои паҳн карда шудааст, ки дар дохили доираи воҳидии $|z| < 1$ ҷойгир мебошад.

Мисоли 3. Интегралро ҳисоб кунед

$$I = \int_0^{2\pi} \frac{\cos^2 t}{13 + 12 \cos t} dt.$$

Ҳал. Тағйирёбандаи нави $z = x + iy = e^{it}$ -ро ворид намуда, бо истифода аз баробариҳои

$$\cos t = \frac{e^{it} + e^{-it}}{2} = \frac{1}{2}\left(z + \frac{1}{z}\right), \quad dt = \frac{1}{iz} dz,$$

ҳосил мекунем

$$I = \int_{|z|=1} \frac{1}{4}\left(z + \frac{1}{z}\right)^2 \cdot \frac{1}{iz} \cdot \frac{1}{13 + 6\left(z + \frac{1}{z}\right)} \cdot dz.$$

Функсияи таҳтиинтегралро бо $F(z)$ ишора намуда, баъд аз табдилдиҳиҳо ҳосил мекунем

$$F(z) = \frac{(z^2 + 1)^2}{4z^2 i (6z^2 + 13z + 6)}.$$

Ин функция дар нуқтаҳои $z_1 = 0$, $z_2 = -\frac{2}{3}$, $z_3 = -\frac{3}{2}$ дорои қутб буда, танҳо дутои аввали он дар дохили доираи воҳидии $|z| < 1$ мебошад. Тафриқҳои функсияи $F(z)$ —ро дар ин нуқтаҳо меёбем. Нуқтаи $z_1 = 0$ дорои қутби тартиби дуум мебошад, бинобар ин аз формулаи

$$c_{-1} = \operatorname{res}_{z=z_0} f(z) = \frac{1}{(m-1)!} \lim_{z \rightarrow z_0} \frac{d^{m-1}}{dz^{m-1}} [(z - z_0)^m f(z)]$$

истифода бурда, ҳосил мекунем

$$\operatorname{res}_{z=0} F(z) = \lim_{z \rightarrow 0} \frac{d}{dz} [z^2 F(z)] = \lim_{z \rightarrow 0} \frac{d}{dz} \left[\frac{(z^2 + 1)^2}{4i(6z^2 + 13z + 6)} \right] = \frac{13i}{144}.$$

Азбаски $z_2 = -\frac{2}{3}$ қутби оддии функсияи $F(z)$ мебошад, пас ин функцияро дар намуди $F(z) = \frac{\varphi(z)}{\psi(z)}$ ифода намуда бо истифода аз формулаи

$$\operatorname{res}_{z=z_0} f(z) = \frac{\varphi(z_0)}{\psi'(z_0)}$$

ҳосил мекунем

$$\operatorname{res}_{z=z_2} F(z) = \frac{\varphi(z_2)}{\psi'(z_2)} = \frac{(z_2^2 + 1)^2}{4i(24z_2^3 + 39z_2^2 + 12z_2)} = \frac{169}{720i}.$$

Акнун ба формулаи (4) гузошта, меёбем

$$I = 2\pi i \left(\operatorname{res}_{z=0} F(z) + \operatorname{res}_{z=z_2} F(z) \right) = \frac{13\pi}{45}.$$

Навъи 4. Интегралҳои намуди

$$\int_0^{\infty} x^p f(x) dx,$$

ки ин ҷо p — адади ҳақиқӣ ва $f(x)$ — функсияи ратсионалии дорои қутбҳои $z_1, z_2, \dots, z_m$ мебошад, ки ягонтои онҳо дар нимтири ҳақиқии $x \geq 0$ намехошад ва баробари сифр нестанд, инчунин шarti

$$\lim_{z \rightarrow 0} z^{p+1} f(z) = \lim_{z \rightarrow \infty} z^{p+1} f(z) = 0 \quad (5)$$

—ро қонун мегардонад.

Бигузор ε — адади мусбати ба қадри кифоя хурд ва R — адади мусбати ба қадри кифоя калон бошад. Бо симболи $\Omega_{\varepsilon, R}$ соҳаи ҳамвории комплексиеро ишора мекунем, ки байни давраҳои $|z| = \varepsilon$ ва $|z| = R$ бе нимтири мусбати $x \geq 0$ маҳдуд бошад. Сарҳади ин соҳаро бо $\omega(\varepsilon, R)$ ишора мекунем. Самти мусбат дар контури $\omega(\varepsilon, R)$ аз нуқтаи $x = \varepsilon$ оғоз гардида аз рӯи тири ҳақиқӣ то ба нуқтаи $x = R$ мерасад ва баъдан давраи $|z| = R$ —ро аз рӯи самти мусбат давр мезанад. Баъд аз он аз нуқтаи $x = R$ то ба нуқтаи $x = \varepsilon$

аз рӯи тири ҳақиқӣ рафта дар охир давраи $|z| = \varepsilon$ –ро аз рӯи самти манфӣ давр мезанад.

Бигузор p – адади бутун набошад. Дар соҳаи $\Omega(\varepsilon, R)$ функсияи $F(z) = z^p f(z)$ –ро дида мебароем ва шоҳаи функсияи бефосилаи z^p –ро барои $\arg z$ дар байни 0 ва 2π мебошад, интиҳоб мекунем. Азбаски ҳангоми $\arg z = 2\pi$ будан $z^p = e^{2\pi ip} |z|^p$ аст, пас

$$\int_{\omega(\varepsilon, R)} z^p f(z) dz = \int_{|z|=R} z^p f(z) dz - \int_{|z|=\varepsilon} z^p f(z) dz + (1 - e^{2\pi ip}) \int_0^R x^p f(x) dx.$$

Аз тарафи дигар мувофиқи теоремаи асосии тафриқҳо интеграл

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\omega(\varepsilon, R)} z^p f(z) dz$$

баробар аст ба суммаи тафриқҳои функсияи $F(z) = z^p f(z)$ дар қутбҳои $z_1, z_2, \dots, z_m$, ки дар дохили соҳаи $\Omega_{\varepsilon, R}$ мебошад. Бинобар ин формулаи зерин ҷой дорад

$$\int_0^R x^p f(x) dx = (1 - e^{2\pi ip})^{-1} \left[- \int_{|z|=R} z^p f(z) dz + \int_{|z|=\varepsilon} z^p f(z) dz + 2\pi i \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} z^p f(z) \right]. \quad (6)$$

Мувофиқи шарти (5) ҳосил мекунем

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{|z|=\varepsilon} z^p f(z) dz = 0, \quad \lim_{R \rightarrow \infty} \int_{|z|=R} z^p f(z) dz = 0.$$

Дар баробарии (6) ҳангоми $R \rightarrow \infty$ ва $\varepsilon \rightarrow 0$ ба ҳудуд гузашта бо назардошти

$$\frac{2\pi i}{1 - e^{2\pi ip}} = -\frac{\pi}{\sin \pi p} e^{-\pi ip}$$

ҳосил мекунем

$$\int_0^\infty x^p f(x) dx = -\frac{\pi}{\sin \pi p} e^{-\pi ip} \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} z^p f(z). \quad (7)$$

Бигузор дар интеграл додашуда p – адади бутун бошад. Дар соҳаи $\Omega(\varepsilon, R)$ функсияи $F(z) = z^p \ln z \cdot f(z)$ –ро дида мебароем ва шоҳаи функсияи бефосилаи z^p ва $\ln z$ –ро барои $\arg z$ дар байни 0 ва 2π мебошад,

интихоб мекунем. Азбаски ҳангоми $argz = 2\pi$ будан $z^p = |z|^p$ ва $lnz = ln|z| + 2\pi i$ аст, пас

$$\begin{aligned} \int_{\omega(\varepsilon, R)} z^p lnz \cdot f(z) dz &= \int_{|z|=R} z^p lnz \cdot f(z) dz - \int_{|z|=\varepsilon} z^p lnz \cdot f(z) dz + \\ &+ \int_0^R x^p ln x \cdot f(x) dx - \int_0^R x^p (ln|x| + 2\pi i) \cdot f(x) dx. \end{aligned} \quad (8)$$

Мувофиқи теоремаи асосӣ оиди тафриқҳо интегралҳои тарафи чапи баробарии охири баробар аст ба суммаи тафриқи функсияҳои $z^p lnz \cdot f(z)$ ҳосили зарбаш ба $2\pi i$. Бинобар ин дар баробарии (8) ҳангоми $R \rightarrow \infty$ ва $\varepsilon \rightarrow 0$ ба ҳудуд гузашта бо назардошти баробариҳои

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{|z|=\varepsilon} z^p lnz \cdot f(z) dz = 0, \quad \lim_{R \rightarrow \infty} \int_{|z|=R} z^p lnz \cdot f(z) dz = 0.$$

Формулаи зеринро ҳосил мекунем

$$\int_0^\infty x^p f(x) dx = - \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} z^p lnz \cdot f(z). \quad (9)$$

Мисоли 4. Интегралро ҳисоб кунед

$$\int_0^\infty \frac{dx}{x^p(x+1)}, \quad 0 < p < 1.$$

Ҳал. Азбаски p — адади бутун нест, пас бо истифода аз формулаи (6) меёбем

$$\int_0^\infty \frac{dx}{x^p(x+1)} = \frac{\pi}{\sin \pi p} e^{\pi i p} \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=-1} \frac{1}{z^p(z+1)}.$$

Тафриқ дар ин баробарӣ аз рӯи формулаи (8) ҳисоб карда мешавад

$$\operatorname{res}_{z=-1} \frac{1}{z^p(z+1)} = \frac{1}{(-1)^p} = e^{-\pi i p}.$$

Қимати ҳосилкардаамонро дар баробарии охири гузошта ҳосил мекунем

$$\int_0^\infty \frac{dx}{x^p(x+1)} = \frac{\pi}{\sin \pi p}.$$

Навъи 5. Интегралҳои намуди

$$\int_0^\infty f(x) ln x dx,$$

ки ин ҷо $f(x)$ — функцияи ратсионалие, ки дар нимтири ҳақиқии $x \geq 0$ дорои қутб нест ва шарт

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} x f(x) = 0$$

—ро қонеъ мегардонад.

Ин ҷо низ ҳамон соҳаи $\Omega(\varepsilon, R)$ бо сарҳади $\omega(\varepsilon, R)$ -ро мебенем, ки дар ҳисобкунии интегралҳои **навъи 4** истифода бурдем. Дар соҳаи $\Omega(\varepsilon, R)$ функцияи $F(z) = f(z)(\ln z)^2$ —ро дида мебароем ва шоҳаи функцияи бефосилаи $\ln z$ -ро барои $\arg z$, ки дар байни 0 ва 2π мебошад, интихоб мекунем. Азбаски ҳангоми $\arg z = 2\pi$ будан $\ln z = \ln|z| + 2\pi i$ аст, пас

$$\begin{aligned} \int_{\omega(\varepsilon, R)} f(z)(\ln z)^2 dz &= \int_{|z|=R} f(z)(\ln z)^2 dz - \int_{|z|=\varepsilon} f(z)(\ln z)^2 dz + \\ &+ \int_{\varepsilon}^R f(x)(\ln x)^2 dx - \int_{\varepsilon}^R f(x)(\ln x + 2\pi i)^2 dx. \end{aligned}$$

Мувофиқи теоремаи асосӣ оиди тафриқҳои интеграл

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\omega(\varepsilon, R)} f(z)(\ln z)^2 dz$$

баробар аст ба суммаи тафриқҳои функцияи $F(z) = f(z)(\ln z)^2$ дар қутбҳои $z_1, z_2, \dots, z_m$, ки дар дохили соҳаи $\Omega_{\varepsilon, R}$ мебошад. Бинобар ин

$$\begin{aligned} \int_{\varepsilon}^R f(x)(\ln x)^2 dx - \int_{\varepsilon}^R f(x)(\ln x + 2\pi i)^2 dx &= - \int_{|z|=R} f(z)(\ln z)^2 dz + \\ &+ \int_{|z|=\varepsilon} f(z)(\ln z)^2 dz + 2\pi i \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} f(z)(\ln z)^2. \end{aligned}$$

Дар ин баробарӣ ҳангоми $R \rightarrow \infty$ ва $\varepsilon \rightarrow 0$ ба ҳудуд мегузарем. Азбаски интегралҳои аз рӯи давраҳои $|z| = \varepsilon$ ва $|z| = R$ ба сифр майл мекунанд, пас

$$\int_0^{\infty} f(x)(\ln x)^2 dx - \int_0^{\infty} f(x)(\ln x + 2\pi i)^2 dx = 2\pi i \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} f(z)(\ln z)^2.$$

Аз ин ҷо бармеояд, ки

$$-2 \int_0^{\infty} f(x) \ln x \, dx - 2\pi i \int_0^{\infty} f(x) \, dx = \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} f(z) (\ln z)^2.$$

Агар функцияи ратсионалии $f(x)$ дар мавриди x ҳақиқӣ қимати ҳақиқиро қабул кунад, пас дар ин баробарӣ қисмҳои ҳақиқӣ ва мавҷумро ҷудо намуда баробарии зеринро ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} f(x) \ln x \, dx &= -\frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} f(z) (\ln z)^2 \right\}, \\ \int_0^{\infty} f(x) \, dx &= -\frac{1}{2\pi} \operatorname{Im} \left\{ \sum_{k=1}^m \operatorname{res}_{z=z_k} f(z) (\ln z)^2 \right\}. \quad (10) \end{aligned}$$

Мисоли 5. Интегралро ҳисоб кунед

$$I = \int_0^{\infty} \frac{\ln x}{x^2 + 2\sqrt{3}x + 4} \, dx.$$

Ҳал. Функцияи $f(z) = \frac{1}{z^2 + 2\sqrt{3}z + 4}$ дар нуқтаҳои $z_1 = -\sqrt{3} + i$ ва $z_2 = -\sqrt{3} - i$ дорои қутбҳои оддӣ мебошад. Тафриқҳоро дар ин нуқтаҳо ҳисоб мекунем

$$\begin{aligned} \operatorname{res}_{z=z_1} f(z) (\ln z)^2 &= \lim_{z \rightarrow z_1} f(z) (\ln z)^2 (z - z_1) = \frac{(\ln z_1)^2}{(z_1 - z_2)} = \frac{(\ln|z_1| + i \arg z_1)^2}{2i}; \\ \operatorname{res}_{z=z_2} f(z) (\ln z)^2 &= \frac{(\ln z_2)^2}{(z_2 - z_1)} = -\frac{(\ln|z_2| + i \arg z_2)^2}{2i}. \end{aligned}$$

Аз ин рӯ

$$\operatorname{Re} \operatorname{res}_{z=z_1} f(z) (\ln z)^2 = \ln|z_1| \arg z_1 = \frac{5\pi}{6} \ln 2,$$

$$\operatorname{Re} \operatorname{res}_{z=z_2} f(z) (\ln z)^2 = \ln|z_2| \arg z_2 = -\frac{7\pi}{6} \ln 2,$$

ва бо истифода аз формулаи (10) ҳосил мекунем

$$I = -\frac{1}{2} \left(\frac{5\pi}{6} \ln 2 - \frac{7\pi}{6} \ln 2 \right) = \frac{\pi}{3} \ln 2.$$

Адабиёт

1. Привалов И.И. Введение в теорию функций комплексного переменного. 13-ое издание. – М.: Наука, 1984.
2. Краснов М.Л., Киселев А.И., Макаренко Г.И. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости. 2-ое издание. – М.: Наука, 1981.
3. Картан А. Элементарная теория аналитических функций одного и нескольких комплексных переменных. М.: Ин.лит. 1963.
4. Пантелеев А.В., Якимов А.С. Теория функций комплексного переменного и операционное исчисление в примерах и задачах. М.: Высшая школа. 2001.
5. Краснов М.Л., Киселев А.И., Макаренко Г.И. Функции комплексного переменного. Задачи и примеры с подробными решениями. 4-ое издание. – М.: URSS, 2006.
6. Волковыский Л.И., Луц Г.Л., Араманович И.Г. Сборник задач по теории функций комплексного переменного. 4-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002-312 с.
7. Сборник задач по теории аналитических функций / Под редакцией Евграфова М.А. – М.: Наука, 1972.
8. Лугун К.Н., Норин В.П., Письменный Д.Т., Шевченко Ю.А. Сборник задач по высшей математике. Том 2. – М.: Айрес пресс, 2007.
9. Шабунин М., Половинкин И., Карлов М. Задачник по ТФКП. Москва. БИНОМ. 2006.

ҲИСОБ НАМУДАНИ ИНТЕГРАЛҲОИ ҒАЙРИХОС АЗ ФУНКСИЯИ ТАҒЙИРЁБАНДАИ ҲАҚИҚИДОШТА БО ЁРИИ ТАФРИҚҲО

Фишурда. Дар мақола татбиқи назарияи тафриқҳо дар раванди ҳисобкунии интегралҳои ғайрихос аз функсияҳои тағйирёбандаи ҳақиқидошта мавриди омӯзиш қарор додашудааст. Чунин интегралҳо вобаста ба алгоритми ҳисобкуниашон ба навъҳо ҷудо карда шудаанд. Дар мақола тарзи ҳисобкунии панҷ навъи чунин интегралҳои ғайрихос нишондода шудааст.

Калимаҳои калидӣ: функцияи аналитикӣ, нуқтаи махсус, тафриқ, интеграл, интегралҳои ғайрихос, ғайрихос.

ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕСОБСТВЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ ОТ ФУНКЦИЙ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧЁТОВ

Аннотация. В статье рассматривается применение теории вычетов в процессе вычисления несобственных интегралов от функций

действительного переменного. Такие интегралы в зависимости от их алгоритма вычисления разбиваются на несколько типов. В статье продемонстрированы вычисления пять типов таких несобственных интегралов.

Ключевые слова: аналитическая функция, особая точка, вычет, несобственный интеграл.

CALCULATING IMPROPER INTEGRALS OF FUNCTIONS OF A REAL VARIABLE USING RESIDUES

Annotation. The article discusses the application of the residues theory in the process of calculating improper integrals from a real variable functions. Such integrals, depending on their calculation algorithm, are divided into several types. The article demonstrates calculations of five types of such improper integrals.

Keywords: analytic function, singular point, residue, improper integral.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Раҳмонов Б.А. — ходими калони илмии Институти математикаи ба номи А.Чӯраеви АМИТ, номзади илмҳои физикаю математика. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Бозорзода Ш. — магистранти Институти математикаи ба номи А.Чӯраеви АМИТ. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон.

Информация об авторах:

Рахмонов Б.А. — старший научный сотрудник Института математических наук им. А. Джуроева, НАНТ, кандидат физико-математических наук. **Адрес:** Республика Таджикистан.

Бозорзода Ш. — магистр Института математических наук им. А. Джуроева, НАНТ **Адрес:** Республика Таджикистан.

Information about the authors:

Rakhmonov B.A. — is a senior researcher at the A. Dzhuraev Institute of Mathematical Sciences, NANT, Candidate of Physico-Mathematical Sciences. **Address:** Republic of Tajikistan.

Bozorzada Sh. — Master's degree from the A. Juraev Institute of Mathematical Sciences, NANT, **Address:** Republic of Tajikistan.

Муқарриз: Мирзоев Ш. — н.и.т.,
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

УДК 517:681.3

ББК 22.1+73

К-27

ҲАЛЛИ МИСОЛУ МАСЪАЛАҲОИ ОМЕХТА БА ВОСИТАИ ЗАБОНИ БАРНОМАСОЗӢ ДОИР БА СИСТЕМАҲОИ МУОДИЛАҲОИ АЛГЕБРАВӢ ДАР КОМПЮТЕР

Каримов А.Ғ., Талбаков Ҳ.
Донишгоҳи давлатии Данғара

Дар ин мавзӯ масъалаҳое дида баромада мешаванд, ки онҳо дар асоси пешгӯи намудани истеҳсоли маҳсулот аз рӯи захираҳои маълуми ашёи хом, ба тартиб додан ба ҳалли системаҳои муодилаҳои хаттии алгебравӣ оварда мешаванд.

Масъалаи 1. Фабрикаи пойафзолбарорӣ се намуди ашёи хом S_1 , S_2 , S_3 -ро истифода бурда, се намуд маҳсулот истеҳсол мекунад: мӯза, кроссовка ва ботинка. Меёри сарфи ҳар як намуди ашёи хом барои як ҷуфти пойафзол ва ҳаҷми сарфи он дар як рӯз дар таблитсаи зерин, оварда шудааст.

Намудҳои ашёи хом	Меёри ашёи хом барои як ҷуфт			Сарфи ашёи хом дар 1-рӯз
	мӯза	кроссовка	ботинка	
S_1	5	3	4	2700
S_2	2	1	1	900
S_3	3	2	2	1600

Ҳаҷми ҳаррӯзаи истеҳсоли ҳар як намуди пойафзол муайян карда шавад.

Ҳал: Фарз мекунем, фабрика ҳар рӯз x_1 -ҷуфт мӯза, x_2 -ҷуфт кроссовка, x_3 -ҷуфт ботинка истеҳсол менамояд. Онгоҳ дар асоси пурра сарф намудани захираҳо барои ҳар як намуди ашёи хом вобастагии мувозинатиеро тартиб додан мумкин аст, ки он ба системаи се муодилаи се номаълуманок оварда мерасонад.

$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 + 4x_3 = 2700 \\ 2x_1 + x_2 + x_3 = 900 \\ 3x_1 + 2x_2 + 2x_3 = 1600 \end{cases}$$

Ин системаро бо ягон усули маъмул ҳал намуда, муайян менамоем, ки ҳаҷми истеҳсоли маҳсулот аз рӯи захираҳои додашудаи ашёи хом оид ба ҳар як намуд, мувофиқан чунин мешавад.

$$X_1=200, X_2=300, X_3=200$$

Усули Крамер. *Гузориши масъала.* Системаи се муодилаи хатии се номаълумаро бо усули Крамер ҳал мекунем.

Якбор пешаки усули Крамерро хотирмон карда истифода мекунем, аз, қоидаҳо ва мисолҳои овардашударо нишондодҳоро пешкаш мекунем.

Баъдан ба масъалаи 1, баргашта онро дар асоси усули Крамер дида мебароем:

1. Нақшаи барномаро тартиб медиҳем;
2. Модели математикии онро аз рӯи қоидаи Крамер тартиб медиҳем;
3. Ҷадвал тартиб медиҳем;
4. Онро хуб таҳлил карда алгоритм ва блок-схема тартиб медиҳем;
5. Дар забони барномасозии vb6.0, барнома месозем.
6. Шакл ва лоиҳаи барномаро аз рӯи компонентҳои стандартӣ тайёр мекунем;
7. Модели математикии тайёркардашударо дар барнома ворид намуда натиҷаро пайдо мекунем.

Системаи се муодилаи хатии се номаълумаро бо усули Крамер ҳал мекунем.

$$\begin{cases} \alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2 + \alpha_{13}x_3 = b_1, \\ \alpha_{21}x_1 + \alpha_{22}x_2 + \alpha_{23}x_3 = b_2, \\ \alpha_{31}x_1 + \alpha_{32}x_2 + \alpha_{33}x_3 = b_3. \end{cases}$$

Нақшаи ҳал:

Агар муайянкунандаи матритсаи система

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{vmatrix}$$

бошад ва аз нол фарқ кунад, он гоҳ система фақат ҳалли ягона дорад. Ҳалли ингуна система бо усули Крамер ҳал карда мешавад, ки дар ин ҷо

$$x_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}, \quad i = 1, 2, 3,$$

Бошад, Δ_i -муайянкунандаи матритса бо ивазкунии сутунҳо мебошад, сутунҳои i -уми онҳо озод.

Пеш аз он, ки мисолро ҳал кунем қоидаи «секунҷаҳоро» ба хотир меорем, ки бо ёрии он муайянкунандаҳои тартиби сеюмро меёфтем.

1. Муайянкунандаи матритсаи системаро ҳал мекунем.

Бовар мекунем, ки он баробари нол нест ва натиҷаи система ҳалли ягонро дорад.

2. Муайянкунандаҳои системаро ҳал мекунем.

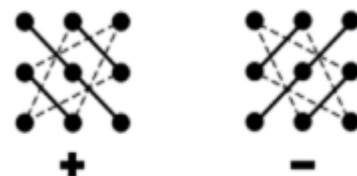
$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} b_1 & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ b_2 & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ b_3 & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{vmatrix}, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & b_1 & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & b_2 & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & b_3 & \alpha_{33} \end{vmatrix}, \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & b_1 & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & b_2 & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & b_3 & \alpha_{33} \end{vmatrix}.$$

3. Аз рӯи формулаи Крамер ҳалли системаи муодилаҳоро меёбем.

$$x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad x_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta}.$$

Пеш аз он, ки мисолро ҳал намоем мо қоидаи «секунҷаҳоро» ба хотир оварда муайянкунандаҳои тартиби 3-юмро ҳисоб мекунем.

Муайянкунадаи тартиби сеюм аз рӯи қоидаи зерин ҳал карда мешуд.



$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{vmatrix}$$

Мисоли 1. Системаи муодилаҳоро бо усули Крамер ҳал мекунем.

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 = 4, \\ 3x_1 - 5x_2 + 3x_3 = 1, \\ 2x_1 + 7x_2 - x_3 = 8, \end{cases}$$

Ҳал.

Матритса А ва сутуни аъзои озои b-ро менависонем.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 3 & -5 & 3 \\ 2 & 7 & -1 \end{pmatrix}; \quad b = \begin{pmatrix} 4 \\ 1 \\ 8 \end{pmatrix}.$$

Баро иҷрои усули Крамер мегузарем:

1. Муайянкунандаҳои системаи 1-ро бо қоидаи «Секунҷаҳо» дида мебароем.

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 3 & -5 & 3 \\ 2 & 7 & -1 \end{vmatrix} = 1 \cdot (-5) \cdot (-1) + 2 \cdot 3 \cdot 2 + 1 \cdot 3 \cdot 7 - 1 \cdot (-5) \cdot 2 - 1 \cdot 3 \cdot 7 - 2 \cdot 3 \cdot (-1) = 33.$$

Агар чанде он баробари нол набошад, вале муайянкунанда ҳалли ягона дорад.

2. Акнун муайянкунандаҳои $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ -ро ҳисоб мекунем.

Муайянкунандаи Δ_1 бо иваз кардани сутуни якум ба сутуни аъзои озодаи b ҳисоб мекунем.

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 4 & 2 & 1 \\ 1 & -5 & 3 \\ 8 & 7 & -1 \end{vmatrix} = 4 \cdot (-5) \cdot (-1) + 2 \cdot 3 \cdot 8 + 1 \cdot 1 \cdot 7 - 1 \cdot (-5) \cdot 8 - \\ - 2 \cdot 1 \cdot (-1) - 4 \cdot 1 \cdot 7 = 33.$$

Ҳаминтавр муайянкунандаи Δ_2, Δ_3 -ро бо иваз кардани сутуни озодаи b ба сутунҳои матритса натиҷаҳои зеринро дастраст мегардем.

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 3 & 1 & 3 \\ 2 & 8 & -1 \end{vmatrix} = 33, \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 3 & -5 & 1 \\ 2 & 7 & 8 \end{vmatrix} = 33.$$

3. Акнун аз рӯи формулаи Крамер ҳалли системаи муодилаҳоро меёбем.

$$x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 1, \quad x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = 1, \quad x_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = 1.$$

Ҷавоб: $x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 1$

Акнун ба иҷрои сохтани барнома мегузарем. Лоиҳакаи карда, формаи барномаро тартиб медиҳем. Дар форма компонентҳои заруриро дохил карда, онро ба барномаи қори тартиб медиҳем. Зер фармони хусуси 1 тартиб дода онро ба итмом мерасоем. Ҳамин тавр боз ду зер фармонҳои 2-юм ва сеюм-ро тартиб дода қорро ба итмом мерасонем.

Private Sub Command1_Click()

a11 = Val(Text1.Text)

a12 = Val(Text2.Text)

a13 = Val(Text3.Text)

b1 = Val(Text4.Text)

a21 = Val(Text5.Text)

a22 = Val(Text6.Text)

a23 = Val(Text7.Text)

b2 = Val(Text8.Text)

a31 = Val(Text9.Text)

a32 = Val(Text10.Text)

a33 = Val(Text11.Text)

b3 = Val(Text12.Text)

X1 = Val(Text13.Text)

X2 = Val(Text14.Text)

x3 = Val(Text15.Text)

d = Val(Text16.Text)

dx1 = Val(Text17.Text)

dx2 = Val(Text18.Text)

```

dx3 = Val(Text19.Text)
d = a11 * a22 * a33 + a12 * a23 * a31 + a21 * a32 * a13 - a13 * a22 * a31 -
a12 * a21 * a33 - a11 * a32 * a23
dx1 = b1 * a22 * a33 + a12 * a23 * b3 + b2 * a32 * a13 - a13 * a22 * b3 -
a12 * a33 * b2 - a23 * b1 * a32
dx2 = a11 * b2 * a33 + a23 * b1 * a31 + b3 * a21 * a13 - a13 * b2 * a31 -
a21 * b1 * a33 - b3 * a11 * a23
dx3 = a11 * a22 * b3 + a12 * b2 * a31 + a21 * a32 * b1 - b1 * a22 * a31 - b3
* a21 * a12 - a11 * a32 * b2
Text16.Text = d
Text17.Text = dx1
Text18.Text = dx2
Text19.Text = dx3
Text13.Text = X1
Text14.Text = X2
Text15.Text = x3
X1 = dx1 / d
X2 = dx2 / d
x3 = dx3 / d
If d = 0 Then MsgBox ("Системаи муодилаҳоро ҳал надорад.")
Text13.Text = X1
Text14.Text = X2
Text15.Text = x3
End Sub
Private Sub Command2_Click()
Text1.Text = " "
Text2.Text = " "
Text3.Text = " "
Text4.Text = " "
Text5.Text = " "
Text6.Text = " "
Text7.Text = " "
Text8.Text = " "
Text9.Text = " "
Text10.Text = " "
Text11.Text = " "
Text12.Text = " "
Text13.Text = " "
Text14.Text = " "
Text15.Text = " "

```

```

Text16.Text = " "
Text17.Text = " "
Text19.Text = " "
Text20.Text = " "
End Sub
Private Sub Command3_Click()
End
End Sub

```

The screenshot shows a software window with a light blue background. Inside, there's a grid of input fields. The first column has labels a11, a12, a13, b1, a21, a22, a23, b2, a31, a32, a33, b3. The second column has labels d, dx1, dx2, dx3, x1, x2, x3. The third column has labels 1, 1, 1, 33, 33, 33, 33. The fourth column has labels 4, 33, 1, 33, 33, 33, 33. The fifth column has labels 2, 7, -1, 8. At the bottom right, there are three buttons: 'Пахш', 'Тозакуни', and 'Баромад'.

Расми 1. Ҳалли мисоли 2 дар барномаи сохташудаи хусусӣ

The screenshot shows the same software window as Figure 1, but with numerical values entered in the input fields. The first column has values 5, 3, 4, 2700, 21, 22, a23, b2, 2, 1, 1, 900, a31, a32, a33, b3, 3, 2, 2, 1600. The second column has values d, dx1, dx2, dx3, x1, x2, x3. The third column has values 200, 300, 200, 1, 200, 300, 200. The fourth column has values 4, 33, 1, 33, 33, 33, 33. The fifth column has values 2, 7, -1, 8. At the bottom right, there are three buttons: 'Пахш', 'Тозакуни', and 'Баромад'.

Расми 2. Ҳалли масъалаи 1 дар барномаи сохташудаи хусусӣ

Ҳамин тавр мо масъалаҳои гузошташударо ба итмом расонидем.

Адабиёт

1. Кудрявтсев В.А., Б.П. Демидович. Курси мухтасари математикаи оӣ. Тарҷума аз нашри панҷуми русӣ. «Маориф», 1984. Саҳ. 334.
2. П.Т. Опанасов., М.И. Орлов. Сборник задач по математике. Москва «Высшая школа» 1987. Стр-116
3. М.Махкамов., Қ.У. Осимий. Раҳнамои математика. нашрияи ёздаҳум бо тағйирот. Душанбе, 2020. Саҳ-96
4. ИНФОРМАТИКА. Под редакцией профессора Супрунна. Издательство Ассоциации строительных вузов. Москва 2006. Стр 159-178.
5. Шаг за шагом. Microsoft visul Basic 6.0 СП ЭКОМ. Москва, 2006г

ҲАЛЛИ МИСОЛУ МАСЪАЛАҲО ОМЕХТА БА ВОСИТАИ ЗАБОНИ БАРНОМАСОЗӢ ДОИР БА СИСТЕМАҲОИ МУОДИЛАҲОИ АЛГЕБРАВӢ ДАР КОМПЮТЕР

Физиурда. Бо мақсади дар амал татбиқ намудани «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (солҳои 2020-2040) оид ба сохтани моделҳои математикӣ ва сохтани барномаҳои хусусӣ баҳри фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ ва дигар фанҳои ба он алоқаманд дар соҳаи илму маориф пешкаш гардидааст. Дар мақолаи мазкур аз усулҳои лозима истифода бурда ба онҳо модел сохта онро барномасозӣ кардем. Бо ҳамин мақсад мо соҳиби натиҷаҳои дастрас гаштем. Дар мақола мо аз таҷрибаҳо ва мушоҳидаҳо оид ба барномасозӣ истифода карда бахши масъалаҳои математикӣ ва иқтисодӣ ба воситаи операторҳои лозима барномаи хусусӣ тартиб додем, ки боиси натиҷаи кор гашт. Барнома барои дастгирии донишҷӯён ва омӯзгорони ҷавон дар соҳаҳои ба он мувофиқ аз назари илмию методӣ барои ихтисосҳои математика ва информатика ва дигар ихтисосҳои ба он алоқаманд, дахлпазир аст.

Калидвожаҳо: математика, информатика, компютер, форма, модел, лоиҳа, оператор, барнома, барномасозӣ, муайянкунанда, системаи муодилаҳо.

РЕШЕНИЕ СМЕШАННЫХ ЗАДАЧ НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ НА КОМПЬЮТЕРЕ

Аннотация. В рамках реализации программы «Двадцатилетний цикл изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» (2020–2040 гг.) представлено предложение по созданию математических моделей и разработке пользовательских программ. Эти

инициативы направлены на поддержку естественных, точных и математических наук, а также других смежных дисциплин в области науки и образования. В этой статье мы использовали необходимые методы для создания модели и ее программирования. Для этой цели мы получили доступные результаты. В статье мы использовали наш опыт и наблюдения в программировании для создания пользовательской программы для решения математических и экономических задач с использованием необходимых операторов, что привело к результату работы. Программа направлена на поддержку молодых студентов и преподавателей по направлениям, актуальным для нее с научной и методической точки зрения, по специальностям математика и информатика, а также другим смежным специальностям.

Ключевые слова: математика, информатика, компьютер, форма, модель, проект, оператор, программа, программирование, определитель, система уравнений.

SOLVING MIXED PROBLEMS IN A PROGRAMMING LANGUAGE FOR SYSTEMS OF ALGEBRAIC EQUATIONS ON A COMPUTER

Annotation. In order to put into practice the "twentieth anniversary of the study and development of natural, exact and mathematical sciences in the field of science and education" (2020-2040), it was proposed to create mathematical models and special programs for natural, exact and mathematical sciences and other related disciplines in the field of science and education. In this article, we used the techniques needed to model them to make him a programmer. To this end, we have obtained accessible results. In the article, we used the programmer's experiences and observations to solve mathematical and economic problems using the necessary operators in order to create our own program that led to the result of the work. The program is designed to support young students and teachers in relevant fields from a scientific and methodological point of view for the majors of mathematics and computer science and other related specialties.

Keywords: mathematics, computer science, computer, form, model, project, operator, program, Programming, determinant, system of equations.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Каримов Алишер Ғашиевич – номзади илмҳои физика математика, иҷрокунандаи вазифаи дотсенти кафедраи математикаи олии Донишгоҳи давлатии Данғара. Тел: (992) 901553367.

Талбаков Ҳусейн Хоркашович – саромӯзгори кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ Донишгоҳи давлатии Данғара. Тел.: (+992) 933441700; Email: husei8_7@bk.ru

Сведения об авторах:

Каримов Алишер Гашович – кандидат физико-математических наук, и.о. доцента кафедры высшей математики Дангаринского государственного университета. Тел.: (992) 901553367.

Талбаков Хусейн Хоркашович – старший преподаватель кафедры информатики и цифровых технологий Дангаринского государственного университета. Тел.: (+992) 933441700; Email: husei8_7@bk.ru

Information about the author:

Karimov Alisher Gashovich – Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Acting Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Dangara State University. Tel: (992) 901553367

Talbakov Husein Khorkashovich – Senior Lecturer at the Departments of Computer Science and Digital Technologies of Dangara State University Тел.: (+992) 933441700; Email: husei8_7@bk.ru

Муқарриз: Пиров Х.Х. – н.и.ф.-м.,
Донишгоҳи давлатии Данғара

УДК 534.22: 534.28

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОАТОМНЫХ И ПОЛЯРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Акдодов Д.М., Баладжонзода С.Д.

Таджикский национальный университет

Изучение акустических свойств многоатомных и полярных жидкостей, таких как скорость звука и коэффициенты поглощения, позволяет более точно оценивать их молекулярную структуру и динамику, а также выявлять особенности межмолекулярных взаимодействий. Важным аспектом является понимание влияния полярности молекул и их многоатомной структуры на акустические параметры, что способствует более глубокому осмыслению механизмов релаксационных процессов, явлений переноса и структурных изменений в жидких средах. Кроме того, исследование акустических свойств этих жидкостей имеет значительное практическое значение в таких областях, как диагностика, сенсорика и разработка новых материалов и технологий, основанных на акустических методах контроля и воздействия. Современные методы молекулярной акустики, включая термодинамические и кинетические подходы, открывают новые возможности для разработки жидкостей с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Таким образом, изучение акустических свойств многоатомных и полярных жидкостей представляет собой важную задачу, имеющую не только фундаментальное значение для физики и химии, но и широкие практические применения в научных и промышленных областях.

На сегодняшний день существует множество экспериментальных и теоретических исследований, посвящённых акустическим свойствам жидкостей. При этом особое внимание уделяется влиянию релаксационных процессов на коэффициенты переноса и модули упругости, которые определяют акустические характеристики.

Подробные обзоры результатов исследований в области изучения структуры, природы внутренних релаксационных процессов, явлений переноса и акустических свойств жидкостей, полученные с использованием методов общей релаксационной теории, временных корреляционных функций, проекционных операторов, кинетических уравнений, неравновесных статистических операторов, а также с применением метода молекулярной акустики, представлены в работах [1–3].

На основе молекулярно-кинетической теории в работах [4–6] были получены аналитические выражения для скорости звука и коэффициента поглощения звуковых волн в простых, магнитных и ионных жидкостях, а также в растворах электролитов с учётом влияния внутренних релаксационных процессов. Для определённых моделей взаимодействия частиц и радиальной функции распределения были проведены численные расчёты этих акустических параметров в зависимости от плотности, температуры, концентрации и частоты. Полученные результаты показали хорошее согласие с экспериментальными данными.

В работа [7] акустическим методом измерена скорости звука, коэффициента поглощения звука, объемной вязкости и времени релаксации в жидком метане (CH_4) и тетрафторметане (CF_4) вдоль линии насыщения. Выявлено, что зависимость коэффициента поглощения и объемной вязкости от температуры и плотности формируется двумя основными вкладами: первый связан с «жесткой» частью потенциалов взаимодействия и различием локально-равновесной функции распределения на межчастичных расстояниях, а второй – с «структурным» вкладом, обусловленным дальнедействующими силами и искажением парной функции распределения на больших расстояниях, что приводит к снижению соответствующих величин. В CF_4 дисперсия величины α/v^2 наблюдается во всей исследованной области температур и частот, а при низких температурах – слабая дисперсия скорости звука. В CH_4 дисперсия α/v^2 наблюдалась только при $T > 140^\circ\text{K}$.

Исследования акустических свойства жидкостей с учетом влияния различных внутренних релаксационных процессов, активно развиваются и в последние годы.

В работе [8] рассмотрено возможности применения крутильных колебаний для измерений вязкоупругих свойств жидкостей. Показано, что для определения комплексного модуля сдвига достаточно определить частоту резонанса и добротность крутильных колебаний. Приводятся полученных результаты измерений вязкоупругого модуля глицерина и нефти в диапазоне температур от 10°C до 60°C . Экспериментальная установка позволяет проводить измерения вязкоупругого модуля в диапазоне частот от 10 кГц до 20 кГц. Полученные результаты были сопоставлены с результатами реометрических измерений.

В работе [9] успешно применена акустическая спектроскопия для определения объемной вязкости воды в температурном диапазоне от 7 до 50°C . Показано, что результаты согласуются с классической теорией акустического поглощения звука. Также отмечено, что акустическая спектроскопия является

надежным, воспроизводимым и точным методом для определения объемной вязкости.

Авторы работы [10] резонансным методом в области частот 10^4 – 10^5 Гц измерили модуль сдвига и тангенс угла механических потерь для ряда различных жидкостей: полиэтилсиликоновых (ПЭС) жидкостей, гликолей, бутилового спирта, тридекана и пентадекаана. Выявлено, что действительный модуль сдвига уменьшается с понижением частоты, а тангенс угла механических потерь растет. Результаты показывают, что значения модуля упругости всех исследуемых жидкостей уменьшаются с уменьшением частоты, а тангенс угла механических потерь растет, оставаясь при этом меньше 1.

В работе [11] рассмотрены электромагнитные и магнитозвуковые адиабатические волны в намагничивающихся и поляризующихся жидкостях в рамках линейризованных уравнений. Полученные дисперсионные уравнения описывают две электромагнитные волны, поперечную и продольную звуковые волны.

Децентрализация эталонной базы при измерениях скорости звука в жидкостях путем выражения скорости звука в долях скорости распространения света в вакууме рассмотрена в работе [12]. Предложен метод учета дифракционных эффектов посредством выполнения измерений скорости звука в режиме постоянства длины звуковой волны и привязки абсолютных значений скорости звука к расчетным термодинамическим значениям, полученным неакустическим методом в условиях, когда адиабатическая сжимаемость равна изотермической. Предполагается, что при использовании этих принципов и методов станет возможным на порядок и более повысить точность воспроизведения нового первичного эталона единицы скорости звука в жидкостях и передачи его подчинённым средствам измерения в широком диапазоне температур и давлений.

В работе [13] с помощью электрофизических и акустоэлектрических методов для контроля физических свойств полярных и неполярных жидких сред проведено измерение параметров модельных систем на основе вазелинового и силиконового масел, а также глицерина. Для акустической части задачи в качестве пьезоэлектрической пластины использовался ST, X-кварц, на котором была размещена ячейка для жидкости из фторопласта. Измерения проводились в три этапа: измерение фазы и амплитуды акустической волны I) без контакта с жидкостью, II) в контакте с чистой исследуемой жидкостью и III) в контакте с исследуемой жидкостью с наполнителем. Вязкость суспензий определялась по разнице затухания акустической волны в присутствии чистой жидкости и жидкости с наполнителем.

С помощью акустического интерферометра в работе [14] определена скорость акустической волны в жидкостях с различным акустическим импедансом. Показано, что указанный импеданс определяет отношение резонансных величин максимума и минимума коэффициента прохождения S_{12} для одной и той же пары «излучатель-приёмник» в зависимости от расстояния между преобразователями. Проведённый теоретический анализ позволил определить механический импеданс в плоскости «преобразователь–жидкость» в зависимости от акустического импеданса жидкости. На основе теоретического анализа разработана методика определения затухания жидкости, свободная от влияния «кажущегося» затухания, связанного с уходом части акустической мощности в преобразователи.

Целью данной работы является исследование зависимости акустических характеристик многоатомных и полярных жидкостей от термодинамических параметров состояния и частоты, с учётом природы рассасывания необратимых потоков, когда релаксирующие потоки затухают по степенному или экспоненциальному закону.

В [4] методом кинетических уравнений для скорости $C(\omega)$ и коэффициента поглощения $\alpha(\omega)$ звуковых волн получены следующие аналитические выражения:

$$C(\omega) = C_S \left\{ 1 + \frac{1}{2\rho C_0^2} \left[\frac{4}{3} \mu(\omega) + K_r(\omega) \right] \right\}, \quad (1)$$

$$\alpha(\omega) = \frac{\omega^2}{2\rho C_S^3} \left[\frac{4}{3} \eta_s(\omega) + \eta_v(\omega) \right], \quad (2)$$

где $C_S = \sqrt{\frac{K_S}{\rho}}$ - адиабатическая скорость звука, ρ - плотность раствора $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$,

$K_r(\omega) = K(\omega) - K_S$, $K_S = n \left(\frac{\partial P}{\partial n} \right)_T + \frac{T}{nC_V} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_n^2$ - адиабатический объёмный модуль упругости, $\mu(\omega)$ - динамический сдвиговой модуль упругости, $K(\omega)$ - динамический объёмной модуль упругости, $\eta_s(\omega)$, $\eta_v(\omega)$ - коэффициенты сдвиговой и объёмной вязкости соответственно.

Микроскопические выражения динамических модулей сдвиговой $\mu(\omega)$ и объёмной $K_r(\omega)$ упругости, коэффициентов сдвиговой $\eta_s(\omega)$ и объёмной $\eta_v(\omega)$ вязкости с учетом вкладов релаксации тензора напряжения в импульсном и конфигурационном пространстве, когда релаксирующие потоки затухают по степенным законам, а механизм является диффузионным, получены в [4,15], которые имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \eta_s(\omega) &= \frac{nkT\tau}{1 + (\omega\tau)^2} + \frac{2\pi n^2 \sigma^3}{15} \int_0^\infty dr r^3 \frac{\partial \Phi(|\vec{r}_1|)}{\partial r} \int_{-\infty}^{+\infty} G_1(r, r_1, \omega) \frac{\partial g(|\vec{r}_1|)}{\partial r_1} r_1 d\vec{r}_1, \\ \eta_V(\omega) &= \frac{2\pi n^2 \sigma^3}{3} \int_0^\infty dr r^3 \frac{\partial \Phi(|\vec{r}_1|)}{\partial r} \int_{-\infty}^{+\infty} G_1(r, r_1, \omega) \varphi_0(|\vec{r}_1|) d\vec{r}_1, \\ \mu(\omega) &= \frac{nkT(\omega\tau)^2}{1 + (\omega\tau)^2} + \frac{2\pi n^2 \sigma^3 \omega}{15} \int_0^\infty dr r^3 \frac{\partial \Phi(|\vec{r}_1|)}{\partial r} \int_0^\infty G_2(r, r_1, \omega) \frac{\partial g(|\vec{r}_1|)}{\partial r_1} r_1 d\vec{r}_1, \\ K_r(\omega) &= \frac{2\pi n^2 \sigma^3 \omega}{3} \int_0^\infty dr r^3 \frac{\partial \Phi(|\vec{r}_1|)}{\partial r} \int_{-\infty}^{+\infty} G_2(r, r_1, \omega) \varphi_0(|\vec{r}_1|) d\vec{r}_1, \end{aligned} \right\} (3)$$

где, $G_2(r, r_1, \omega) = -\frac{\tau_0(2\pi\tau_0)^{-\frac{1}{2}}}{4\pi r r_1} (e^{-\varphi_1}(\sin\varphi_1 + \cos\varphi_1) - e^{-\varphi_2}(\sin\varphi_2 + \cos\varphi_2))$,

$\varphi_0(|\vec{r}_1|) = \frac{r_1}{3} \frac{\partial g(r_1)}{\partial r_1} - \left[n \left(\frac{\partial g(r_1)}{\partial n} \right)_T + \gamma T \left(\frac{\partial g(r_1)}{\partial T} \right)_n \right]$, $\varphi_1 = \frac{\alpha}{2}(r - r_1)$, $\varphi_2 = \frac{\alpha}{2}(r + r_1)$, $\alpha = (2\omega\tau_0)^{\frac{1}{2}}$, $\tau = \frac{m}{2\beta}$, $\tau_0 = \frac{\beta\sigma^2}{2kT}$, $\omega = 2\pi\nu$ - циклическая частота, $\omega^* = \omega\tau$ - приведенная частота, $\Phi^*(r) = \frac{\Phi(r)}{kT}$ - приведенный потенциал межмолекулярного взаимодействия.

В случае, когда релаксирующие потоки затухают по экспоненциальному закону для динамических коэффициентов объемной $\eta_V(\omega)$ и сдвиговой $\eta_s(\omega)$ вязкости, модулей объемной $K_r(\omega)$ и сдвиговой $\mu(\omega)$ упругости, в работе [16] получены следующие аналитические выражения:

$$\left. \begin{aligned} \eta_s(\omega) &= \frac{nkT\tau}{1 + (\omega\tau)^2} + \frac{2\pi}{15} \frac{n^2 kT \sigma^3 \tau_0}{1 + (\omega\tau_0)^2} \int_0^\infty \frac{\partial \Phi^*(|\vec{r}_1|)}{\partial r} \frac{\partial g_0(|\vec{r}_1|)}{\partial r} r^4 dr \\ \eta_V(\omega) &= \frac{2\pi}{3} \frac{n^2 kT \sigma^3 \tau_0}{1 + (\omega\tau_0)^2} \int_0^\infty \frac{\partial \Phi^*(|\vec{r}_1|)}{\partial r} \varphi_0(r) r^3 dr \\ \mu(\omega) &= \frac{nkT\omega^2}{1 + \omega^2} - \frac{\omega^2 \left(\frac{\tau_0}{\tau} \right)^2}{1 + \omega^2 \left(\frac{\tau_0}{\tau} \right)^2} \frac{2\pi}{15} n^2 kT \sigma^3 \int_0^\infty \frac{\partial \Phi^*(|\vec{r}_1|)}{\partial r} \frac{\partial g(|\vec{r}_1|)}{\partial r} r^4 dr \\ K_r(\omega) &= \frac{\omega^2 \left(\frac{\tau_0}{\tau} \right)^2}{1 + \omega^2 \left(\frac{\tau_0}{\tau} \right)^2} \frac{2\pi}{3} n^2 kT \sigma^3 \int_0^\infty \frac{\partial \Phi^*(|\vec{r}_1|)}{\partial r} \varphi_0(|\vec{r}_1|) r^3 dr. \end{aligned} \right\} (4)$$

На основе выражений (1), (2), (3) и (4) проведены численные расчёты скорости звука $C(\omega)$ и коэффициента поглощения $\alpha(\omega)$ звуковых волн. Потенциальные члены в выражениях (3) и (4) определяются посредством $\Phi_{ab}(r, \theta_a, \theta_b, \xi_a - \xi_b)$ и $g(r, \theta, \rho, T)$, которые при определённой модели

жидкостей являются известными в литературе. Также, следует определить коэффициента трения полярных жидкостей β .

Для полярных жидкостей потенциал межмолекулярного взаимодействия $\Phi_{ab}(r, \theta_a, \theta_b, \xi_a - \xi_b)$ принимается по модели Штокмайера [17] и имеет вид:

$$\Phi_{ab}(r, \theta_a, \theta_b, \xi_a - \xi_b) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right] - \frac{d_a d_b}{r^3} V(\theta_a, \theta_b, \xi_a - \xi_b) \quad (5)$$

где

$$V(\theta_a, \theta_b, \xi_a - \xi_b) = 2\cos\theta_a\cos\theta_b - \sin\theta_a\sin\theta_b\cos(\xi_a - \xi_b).$$

Радиальная функция распределения $g(|\vec{r}_1|)$ согласно [18], для полярных жидкостей принимает вид:

$$g(r, \theta, \rho, T) = y(r, \rho^*) \exp\left(-\frac{\Phi_{ab}(r, \theta_a, \theta_b, \xi_a - \xi_b)}{kT}\right), \quad (6)$$

где $y(r, \rho^*)$ – бинарная функция распределения двух полостей, $r=r_{12}/\sigma$ – безразмерное взаимное расстояние молекул, σ – диаметр молекул. В первом приближение угловую зависимость функции $V(\theta_a, \theta_b, \xi_a - \xi_b)$ выбираем при определённых углах.

В качестве контактного значения $y(r, \rho^*)$ на расстоянии $0 < r < \sigma$ ($r \approx 1$) примем выражение, полученное Карнаханом и Старлингом [4]:

$$y(\rho^*) = \frac{(2-\rho^*)}{2(1-\rho^*)^3}, \quad (7)$$

где $\rho^* = \frac{\pi}{6} N_0 \sigma^3 \frac{\rho}{M}$ – приведенная плотность жидкости.

На расстоянии $1 < r < 2$ (т. е. $\sigma < r_{12} < 2\sigma$) для $y(r)$ берем аналитическое выражение, полученное Вертхеймом [19] как решение уравнения Перкуса-Йевики для твердых сфер

$$y(r, \rho^*) = \frac{C_0 e^{t_0(r-1)} + \frac{2}{3} C_1 e^{\gamma(1+\alpha_1)(r-1)}}{r(1-\rho^*)^2}. \quad (8)$$

где

$$C_0 = \frac{1}{3}(H_0 + H_1 + H_2), \quad t_0 = \gamma(1 - 2\alpha_1),$$

$$C_1 = N_0 \cos[\gamma\beta(r-1)] + N_1 \sin[\gamma\beta(r-1)], \quad \beta = \frac{\sqrt{3}}{2}(x_1 + x_2),$$

$$H_0 = 1 + \frac{1}{2}\rho^*,$$

$$H_1 = \frac{\sqrt{f^2 + \frac{1}{8}}}{4\rho^*} \left[x_2^2 (1 - 3\rho^* - 4\rho^{*2}) + x_1^2 \left(1 - \left(\frac{5}{2} \right) \rho^{*2} \right) \right],$$

$$H_2 = \frac{\sqrt{f^2 + \frac{1}{8}}}{4\rho^*} \left[x_1^2 (1 - 3\rho^* - 4\rho^{*2}) + x_2^2 \left(1 - \left(\frac{5}{2} \right) \rho^{*2} \right) \right],$$

$$x_{1,2} = \sqrt[3]{f \pm \sqrt{f^2 + \frac{1}{8}}}, \quad f = \frac{(3+3\rho^*-\rho^{*2})}{4\rho^*},$$

$$\gamma = 2\rho^*(1 - \rho^*), \alpha_1 = \frac{1}{2}(x_1 + x_2), N_0 = H_0 - \frac{H_1 + H_2}{2}, N_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}(H_1 - H_2).$$

Имеется аналитическое выражение для решения уравнения Перкуса-Йефика в области $1 < r < 5$ (т.е. $\sigma < r_{12} < 5\sigma$), полученное в [20]. Однако в силу громоздкости и малости вклада $y(r, \rho^*)$ в области $r > 2$ ограничимся выбором (8). Выражение (6) с учетом (7) и (8) при заданном потенциале взаимодействия между молекулами жидкости (5) определяет аналитический вид равновесной радиальной функции распределения $g(r, \theta, \rho, T)$ как функции температуры, плотности и ориентации полярные молекулы.

Используя выражение для $g(r, \theta, \rho, T)$, можно рассчитать значение коэффициента трения полярных жидкостей β согласно [16] в широком интервале изменения температуры, давления и плотности по формуле:

$$\beta^2 = \rho\sigma \int_0^\infty \nabla^2 \Phi(r, \theta) g(r, \theta, \rho, T) d\vec{r}, \quad (9)$$

где ρ - плотность жидкости, $\nabla^2 = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right)$ - радиальная часть оператора Лапласа.

Учет формул (5), (6) и (9) в выражениях (3) - (4) позволяет провести численный расчет скорости и коэффициента поглощения $\alpha(\omega)$ звуковых волн в широком интервале изменения термодинамических параметров состояния и частот для полярных жидкостей. В качестве полярной жидкости рассмотрена вода. При этом молекулярные параметры, входящие в потенциал Штокмайера $(d_a, d_b, \frac{\varepsilon}{k}, \sigma)$, взяты из [21, 22], а соответствующие экспериментальные значения плотности и температуры - из [9].

Результаты численных расчетов приведены в таблицах 1, 2 и на рис. 1-3, и сравнены с экспериментальными результатами [9].

Таблица 1. Изочастотная зависимость коэффициента поглощения от температуры и плотности для воды ($\omega^* = 10^{-5}$, $\theta_1 = \pi/6$, $\theta_2 = \pi/6$, $\xi_1 - \xi_2 = 0$).

t, °C [9]	ρ , кг/м ³	C _s , м/с [9]	$\alpha/\omega^2 \cdot 10^{14}$, м ⁻¹ ·с ² (форм. (2))		
			[9]	форм. (4)	форм. (3)
7	999,99	1434,92	4,280	1,154	1,336
10	999,73	1447,29	3,760	1,092	1,277
15	999,13	1465,96	3,070	1,000	1,189
25	997,07	1496,73	2,160	0,853	1,048
40	992,20	1528,89	1,510	0,697	0,894
50	988,00	1542,57	1,210	0,620	0,818

Для количественного сравнения результатов численных расчетов с экспериментальными данными в таблице 1 приведены теоретические значения коэффициента поглощения α/ω^2 в зависимости от температуры и плотности,

вычисленные по формулам (2) с учетом формул (3) и (4), при частоте $\omega^* = 10^{-5}$ и фиксированных значениях углов $\theta_1 = \pi/6$, $\theta_2 = \pi/6$, $\xi_1 - \xi_2 = 0$ для воды. Из таблицы следует, что полученные теоретические результаты находятся в качественном согласии с экспериментальными данными.

На рис. 1 представлена изотермическая частотная и угловая зависимость скорости звука в воде при фиксированном значении $\theta_2=45^\circ$, $\xi_1-\xi_2=0$, и температуре $t=10^\circ\text{C}$.

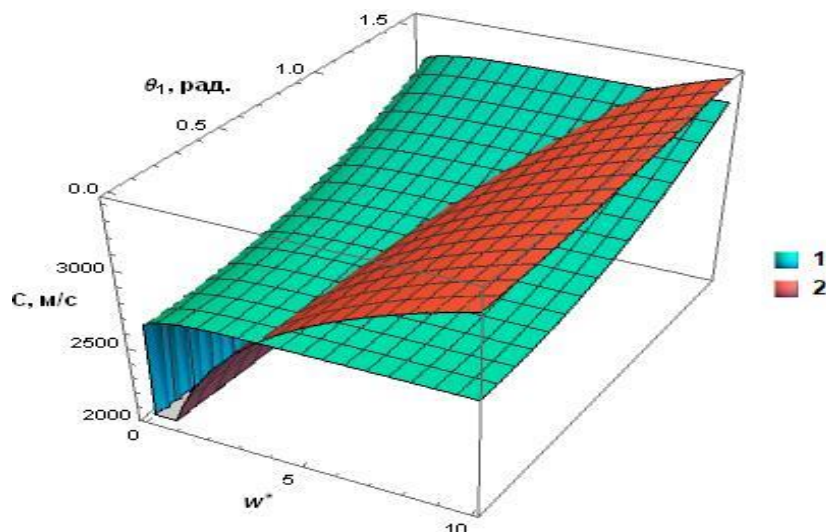


Рис. 1. Зависимость изотермических скоростей звука от приведенной частоты ω^* и угла ориентации молекулы θ_1 для воды при фиксированных значениях $\theta_2=30^\circ$, $\xi_1-\xi_2=0^\circ$, температуре $t=10^\circ\text{C}$: 1 - с учетом формулы (4); 2 - с учетом формулы (3).

Согласно рис. 1, области частотной дисперсии $C(\omega)$ на основе формулы (3) являются широкими (кривая 2), а на основе формулы (4) - узкими (кривая 1), что соответствует общей релаксационной теории [1,2,10].

На рис. 2 показаны изочастотные зависимости коэффициента поглощения звука α/ω^2 для воды от углов θ_1 и θ_2 при фиксированном значении $\xi_1-\xi_2=0$ и постоянной температуре $t=10^\circ\text{C}$.

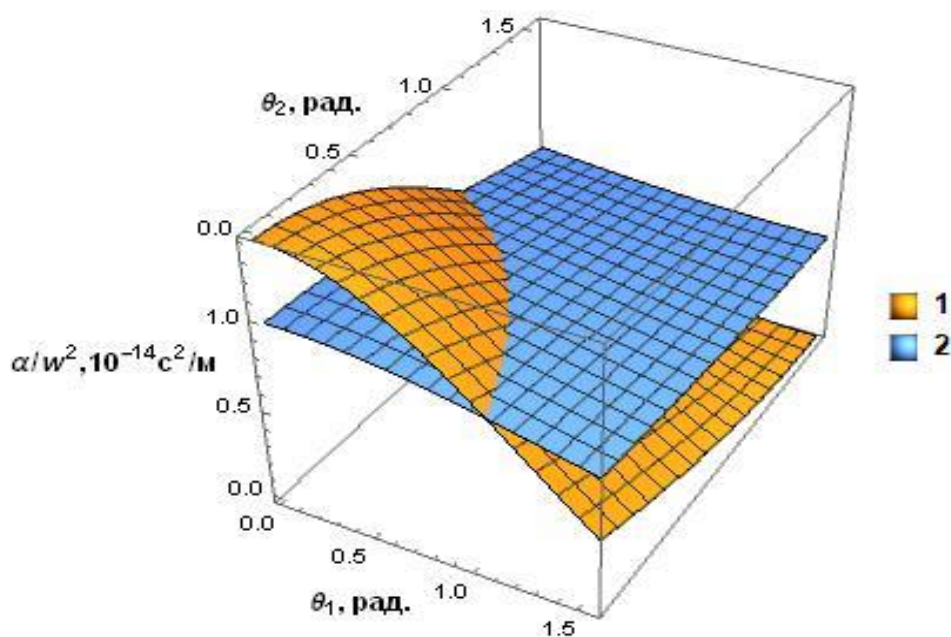


Рис. 2. Зависимость изочастотного коэффициента поглощения звука от углов θ_1 и θ_2 , при фиксированных значениях $\xi_1-\xi_2=0$ для воды при температуре $t=10^\circ\text{C}$: 1 — с учетом формулы (4); 2 — с учетом формулы (3).

Из рисунка 2 видно, что коэффициент поглощения звука зависит от закона затухания релаксирующих потоков по-разному, что обусловлено учётом вкладов релаксационных процессов в эти величины.

При исследовании акустические свойств многоатомных жидкостей ограничимся рассмотрением неполярных жидкостей, состоящих из квазисферических молекул (т.е. молекул с шаровой или близкой к ней симметрией). Важной характеристикой таких молекул является ацентричность, которая описывает отсутствие у молекулы центра симметрии. Молекула считается ацентричной, если для неё невозможно найти точку, относительно которой все атомы молекулы имеют зеркальные отображения, расположенные на одинаковом расстоянии. Центр симметрии молекулы — это точка, через которую можно провести прямую, и в случае симметрии молекулы на противоположной стороне этой прямой будет находиться атом, являющийся зеркальным отражением атома на начальной точке. Например, молекулы с симметрией, такие как метан (CH_4) или диоксид углерода (CO_2), обладают симметрией. Согласно работе [21], для жидкостей с симметричными молекулами, такими как жидкий метан (CH_4), тетрафторметан (CF_4), диоксид углерода (CO_2) и других, дипольный момент молекул равен нулю, т.е. момент $d_a = 0$ и $d_b = 0$. Поэтому при исследовании вязкоупругих свойств таких жидкостей в потенциале межмолекулярного взаимодействия (5) ограничимся потенциалом Леннард-Джонса, который имеет следующий вид:

$$\Phi_{ab}(r) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]. \quad (10)$$

Радиальная функция распределения $g(|\vec{r}_1|)$ согласно [18] принимает в следующий вид:

$$g(r) = y(\rho^*) \exp\left(-\frac{\Phi(r)}{kT}\right), \quad (11)$$

Учет формул (9)-(11) в выражениях (3)-(4), позволяют проведен численный расчет позволяют проведен численный расчет скорости и коэффициента поглощения звуковых волн в широком интервале изменения термодинамических параметров состояния и частот для многоатомных жидкостей. В качестве таких жидкостей с квазисферическими молекулами рассмотрены жидкий метан (CH_4) и тетрафторметан (CF_4). Молекулярные параметры, входящие в потенциал Леннард-Джонса (ε/k , σ), взяты из работ [18,22], а соответствующие экспериментальные значения плотности и температуры - из [7].

Для количественного сравнения результатов численных расчетов с экспериментальными данными в таблицах 2 приведены теоретические значения коэффициента поглощения звуковых волн в зависимости от температуры и плотности, вычисленные по формуле (2), с учетом формул (3) и (4) при частоте $\omega^* = 10^{-5}$ для жидкого метана и тетрафторметана.

Таблица 2. Зависимость коэффициента поглощения звука от температуры и плотности для жидкого метана (CH_4) и тетрафторметана (CF_4) ($\omega^* = 10^{-5}$).

Метан (CH_4)					Тетрафторметане (CF_4)				
Т, К [7]	ρ , кг/м ³ [7]	$\alpha/\omega^2 \cdot 10^{14}$, м ⁻¹ ·с ² (форм. (2))			Т, К[7]	ρ , кг/м ³ [7]	$\alpha/\omega^2 \cdot 10^{14}$, м ⁻¹ ·с ² (форм. (2))		
		[7]	форм. (4)	форм. (3)			[7]	форм. (4)	форм. (3)
100,0	440,0	0,338	0,657	0,240	90,0	1906,5	3,52	3,665	2,585
120,0	413,0	0,380	0,516	0,189	110,0	1814,0	2,54	2,808	1,761
140,0	380,0	0,576	0,484	0,182	130,0	1713,0	2,21	2,521	1,484
150,0	361,0	0,730	0,514	0,197	150,0	1604,0	2,59	2,634	1,500
160,0	339,0	1,070	0,603	0,237	170,0	1478,0	3,73	3,094	1,739
170,0	312,0	1,840	0,835	0,336	190,0	1339,0	7,23	4,734	2,675
180,0	277,0	4,100	1,421	0,583	200,0	1225,0	11,90	5,373	3,033

Из таблицы 2 следует, что полученные теоретические результаты находятся в качественном согласии с экспериментальными данными.

Из полученных результатов видно, что акустические свойства многоатомных и полярных жидкостей зависят от закона затухания релаксирующих потоков по-разному, что обусловлено учётом вкладов релаксационных процессов в эти величины. Следовательно, акустические свойства многоатомных и полярных жидкостей тесно связаны с природой

восстановления равновесной структуры и сложными взаимодействиями между молекулами, а также с влиянием различных факторов, таких как размерные эффекты и ориентация молекул.

Литература

1. Михайлов И.Г., Соловьев В.А., Сырников Ю.П. Основы молекулярной акустики. - М.: Наука, 1964, 514 с.
2. Физическая акустика. /под ред. У.Мэзона. - М.: Мир, 1968, т.2, ч.А., Свойства газов, жидкостей и растворов, 487 с.
3. Крокстон К. Физика жидкого состояния. - М.: Мир, 1978, 400 с.
4. Одинаев С. Молекулярная теория структурной релаксации и явлений переноса в жидкостях / С. Одинаев, А.А. Адхамов // Душанбе. Дониш. - 1998. С. 230.
5. Комилов К., Заринов А.К. Статистическая теория релаксационных процессов, явлений переноса, упругих и акустических свойств магнитных жидкостей. Душанбе Издаделство-УГВ «Матбаа», 2018. - 208 с.
6. Одинаев С., Акдодов Д.М. Теория релаксационных процессов, явлений переноса, упругих и акустических свойств растворов электролитов. Душанбе Издаделство-КВД «Матбаа», 2022. -190 с.
7. Михайленко С. А., Дударь Б. Г. Акустическая релаксация в жидком метане и тетрафторметане // ФНТ. – 1976. – Т.2. – №1. – С.93–104.
8. Есипов И.Б., Зозуля О.М., Фокин А.В. Резонансный метод измерения сдвиговых вязкоупругих свойств жидких сред на основе возбуждения крутильных колебаний в трубках // Акустический журнал, 2010, том 56, № 1, с. 124-134.
9. Holmes M.J., Parker N.G., Povey M. J. Temperature dependence of bulk viscosity in water using acoustic spectroscopy // Journal of physics. Conference series, 2011-01, Vol.269 (1), p.012011-7.
10. Бадмаев Б. Б., Бальжинов С. А., Дамдинов Б. Б., Дембелова Т. С. Низкочастотная сдвиговая упругость жидкостей // Акустический журнал, 2010, том 56, № 5, с. 602-605.
11. Желнорович В.А. Электромагнитные и магнитозвуковые волны в намагничивающихся и поляризующихся жидкостях // Акустический журнал, 2013. том 59, № 4. с. 433-437.
12. Бабий В.И. О метрологии скорости звука в жидкости // Акустический журнал. 2017. том 63. № 3. с. 251-264.
13. Шамсутдинова Е.С., Анисимкин В.И., Фионов А.С., Смирнов А.В., Колесов В.В., Кузнецова И.Е. Совершенствование методов

исследования электрофизических и вязкостных свойств жидкостей // Акустический журнал, 2023, том 69, № 1, с. 56–62.

14. *Зайцев Б.Д., Бородина И. А., Теплых А. А., Семёнов А. П.* Определение скорости и затухания акустической волны в жидкостях с различным акустическим импедансом с помощью акустического интерферометра // Акустический журнал, 2023, том 69, № 4, с. 438–445.
15. *Акдодов Д.М., Баладжонзода С.Д.* Структурная релаксация и вязкоупругих свойств полярных жидкостей // Вестник Таджикского национального университета. 2025. № 1. С.
16. Одинаев С. *Акдодов Д.М., Баладжонзода С.Д.* Частотная дисперсия вязкоупругих свойств полярных жидкостей в случае экспоненциального закона затухания релаксирующих потоков // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2024. № 1 (194). С. 41-49.
17. *Каплан И.Г.* Межмолекулярные взаимодействия. Физическая интерпретация, компьютерные расчеты и модельные потенциалы. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012, 394 с.
18. *Юхновский И.Р., Головкин М.Ф.* Статистическая теория классических равновесных систем. - Киев: Наукова думка, 1980, 372 с.
19. *Wertheim M.S.* Exact solution of the Percus-Yevick integral equation for hard spheres., Phys. Rev. Lett., 1963, 10, № 8, pp. 321-323.
20. *Smith W.R., Henderson D.J.* Analytical representation of the Percus-Yevick hard sphere radial distribution function. Mol. Phys., 1970, V.19, № 3, pp. 441-446.
21. *Осипов О.А., Минкин В.И., Гарновский А.Д.* Справочник по дипольным моментам. - М: «Высшая школа», 1971, 416 с.
22. *Рид Р., Шервуд Т.* Свойства газов и жидкостей. - Л: «Химия», 1971, 709 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОАТОМНЫХ И ПОЛЯРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Аннотация. На основе ранее полученных динамических выражений для скорости и коэффициента поглощения звуковых волн были проведены численные расчеты зависимости скорости распространения и коэффициента поглощения звука для многоатомных жидкостей (жидкий метан и тетрафторметан) и полярных жидкостей (вода) в широком диапазоне температур, плотностей и частот. При расчетах для полярных жидкостей межмолекулярное взаимодействие $\Phi_{ab}(|\vec{r}|)$ было выбрано в виде потенциала

Штокмайера, который зависит от температуры, плотности и ориентации полярных молекул. Для многоатомных жидкостей с квазисферическими молекулами потенциал межмолекулярного взаимодействия был выбран в виде потенциала Леннарда-Джонса. Результаты численных расчетов были сравнены с экспериментальными данными и результатами общей релаксационной теории, и показали хорошее качественное согласие.

Ключевые слова: скорость звука, коэффициента поглощения звука, структурная релаксация, потенциал межмолекулярного взаимодействия, радиальная функция распределения.

ТАДҚИҚОТИ ХУСУСИЯТҲОИ АКУСТИКИИ МОЕЪҲОИ БИСЁРАТОМА ВА ҚУТБӢ

Фишурда. Дар асоси ифодаҳои динамики барои суръат ва коэффитсиенти фурубурди мавҷҳои садо, ки қаблан ба даст омада буданд, ҳисобҳои ададӣ барои суръат ва коэффитсиенти фурубурди мавҷҳои садо барои моеъҳои бисёратома (метан ва тетрафторметани моеъ) ва моеъҳои қутбӣ (об) дар доираи васеи температура, зичӣ ва басомад гузаронида шуданд. Дар мавриди ҳисоби ададӣ барои моеъҳои қутбӣ энергияи потенсиалии ҳамтаъсири молекулавӣ $\Phi_{ab}(|\vec{r}|)$ дар намуди потенсиали Штокмайер интихоб шуд, ки ба температура, зичӣ ва ориентасияи молекулаҳои полярӣ вобаста мебошад. Барои моеъҳои бисёратама бо молекулаҳои квазисферӣ, потенсиалии ҳамтаъсири молекулавӣ дар шакли потенсиали Леннард-Джонс интихоб гардид. Натиҷаҳои ҳисобҳои ададӣ бо маълумоти таҷрибавӣ ва натиҷаҳои назарияи умумии релаксатсия муқоиса карда шуданд, ки мувофиқи хуби сифатиро нишон медиҳанд.

Калимаҳои калидӣ: суръати садо, коэффитсиенти фурубурди садо, релаксатсияи сохторӣ, потенсиалии ҳамтаъсири молекулавӣ, функсияи тақсимои радиалӣ.

STUDY OF ACOUSTIC PROPERTIES OF MULTI-ATOMIC AND POLAR LIQUIDS

Annotation. Based on previously obtained dynamic expressions for the velocity and coefficient of sound wave absorption, numerical calculations were performed to determine the dependence of the sound propagation speed and sound absorption coefficient for multi-atomic liquids (liquid methane and tetrafluoromethane) and polar liquids (water) over a wide range of temperatures, densities, and frequencies. In the calculations for polar liquids, the intermolecular interaction $\Phi_{ab}(|\vec{r}|)$ was chosen in the form of the Stockmayer potential, which depends on temperature, density, and the orientation of polar molecules. For multi-atomic liquids with quasi-spherical molecules, the intermolecular interaction potential

was selected in the form of the Lennard-Jones potential. The results of the numerical calculations were compared with experimental data and results from the general relaxation theory, showing good qualitative agreement.

Keywords: sound velocity, sound absorption coefficient, structural relaxation, intermolecular interaction potential, radial distribution function.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Акдодов Донаёр Мавлобахшович – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, доктори илмҳои физикаю математика, и.в. профессор, мудири кафедраи физикаи умумӣ. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш.Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **E-mail:** donaer.a@mail.ru. **Телефон:** (+992) 919-03-34-07

Балаҷонзода Суалмонҷон Додҷон - Докторанти PhD-и Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш.Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **E-mail:** sulaymonbalajonzoda@gmail.com. **Телефон:** (+992) 987-83-71-84

Сведения об авторах:

Акдодов Донаёр Мавлобахшович – Таджикский национальный университет, доктор физико-математических наук, и.о. профессор, заведующий кафедры общей физики. **Адрес:** 734025, Республики Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **E-mail:** donaer.a@mail.ru. **Телефон:** (+992) 919-03-34-07

Балаҷонзода Суалмонҷон Додҷон – Докторант PhD Таджикский национальный университет. **Адрес:** 734025, Республики Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **E-mail:** sulaymonbalajonzoda@gmail.com. **Телефон:** (+992) 987-83-71-84

Authors' information:

Aqdodov Donayer Mavlobakhshovich - Tajik National University, Doctor of Physics and Mathematics, The head of the department of general physics Physical Faculty, 734025, Tajikistan, Dushanbe, Rudaki avenue, 17. **E-mail:** donaer.a@mail.ru. **Phone:** (+992) 919-03-34-07

Balajonzoda Sualmonjon Dodojon - PhD student Tajik National University. **Address:** 734025, Tajikistan, Dushanbe, Rudaki avenue, 17. **E-mail:** sulaymonbalajonzoda@gmail.com. **Phone:** (+992) 987-83-71-84

ОЗМОИШГОҲИ ВИРТУАЛӢ МОДЕЛИ КОМПЮТЕРИИ “АНДОЗАГИРИИ ҚУВВАҲОИ ТЕЛАДИҲАНДА”.

Умаров А.Н., Азимов С., Шодиев М.С., Наботов Ю.Ш.

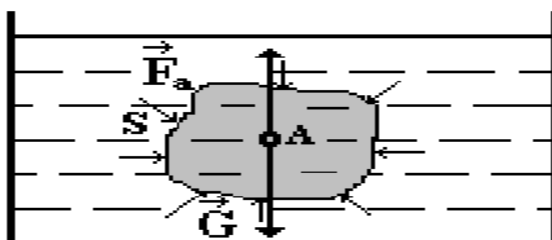
Донишгоҳи давлатии Данғара

Мақсади кор – тарқиқи модели компютерӣ муайян кардани қувваи теладиҳандае, ки ба ҷисми дар об ғўтондашуда таъсир мекунад

Истифодаи технологияи информатсионӣ дар дарси физика васеъ гардида, имконияти таҷрибаи намоишӣ тавассути истифодаи моделҳои виртуалии тасвирҳо, ба Шумо имкон медиҳад, ки ҷазои ягонаи иттилоотӣ эҷод кунед. Инкишоф додани маҳорати ҷустуҷӯи мустақилонаи маълумоти зарурӣ ва интиҳоби танқидии он, нишон медиҳад, ки технологияҳои компютерӣ чӣ тавр дар илми физика амалан истифода мешаванд.

Ҳангоми ташкили дарс бо истифода аз технологияҳои иттилоотӣ усулҳо, воситаҳои таълим, мазмунӣ маводи таълимӣ, вазифаҳои дарс, имкониятҳои таълимӣ, мувофиқати шакли методии дарс ба ҳар як марҳилаи вазифаҳои он, фаълосозии донишҷӯён ва мукотибаи онҳоро муайян кардан лозим аст[4.]

Назарияи кори озмоишӣ чунин аст: ҳаҷми ихтиёрии моеъро интиҳоб мекунем, ки бо сатҳи сарбасти S маҳдуд аст (Расми 1). Ҳангоми дар ҳолати мувозинатӣ қарор доштани моеъ қувва ва моменти натиҷавии тамоми қувваҳои беруна дар ҳаҷми баррасишуда ба сифр баробар аст.



Расми 1. Ҳаҷми интиҳобишудаи ихтиёрии моеъ

Қувваҳои натиҷавии фишори гидростатикӣ, ки ба сатҳи S таъсир мекунад ба вазни моеъи G дар воҳиди ҳаҷм баробар аст, ки бо сатҳи S маҳдуд шудаасту амудӣ ба боло равона буда ва аз маркази массаи ҳаҷми моеъ мегузарад.

Қувваи G ва қувваи фишор дар сатҳи S , дар атрофи моеъи мавҷудбуда, қувваҳои беруна мебошанд. Агар аз ҳаҷми ҷудошуда ҳамаи моеъро ҷудо кунем ва ба ҷои он ягон ҷисми саҳти ҳамон гуна ҳаҷм доштара ҷойгир кунем, пас ҳангоми мувозинат дар ҳолати атрофи моеъ

ягон тағйирот ба амал намеояд. Фишор ҳам дар сатҳи ҷисм - S тағйир намеояд.

Фишор ба ҷисми ба моеъ ғарқшуда дар қаъри он меафзояд, ки ба қонуни $P=\rho gh$ итоат мекунад. Архимед ин қонунро муқаррар кардааст.

Ба ҷисми дар моеъ ё газ ғўтонидашуда дар ҳолати мувозинатӣ қувваҳои болобардоранда (қувваи Архимед) таъсир мекунад, ки ададан ба вазни моеъӣ ё газӣ тангкардашуда баробар аст ва амудӣ ба боло самт дорад.

$$F_a = \rho g V, \quad (1)$$

ин ҷо ρ – зичии моеъ (газ); g - шитоби афтиши озод; V - ҳаҷми моеъ (газ), ки аз тарафи ҷисм иваз карда мешавад.

Барои шарти мувозинати ҷисмҳо зарур аст, ки вазни моеъ ё газ ва қувваи Архимед бо хати росте, ки аз маркази массаи он мегузарад, равона бошад, ки аз тарафи ҷисм иваз карда шудааст ва маркази болобардории ҷисм номида мешавад (нуқтаи A , расми 1). Мавқеи маркази болобардории ҷисмро ҳолати мувозинатӣ ва устувории ҷисми шинокунанда муайян мекунад. Маркази болобарӣ (нуқтаи A) бо маркази массаи ҷисм (нуқтаи C) дар як хати амудӣ дар моеъ ҷойгир аст (Расми 1, а).

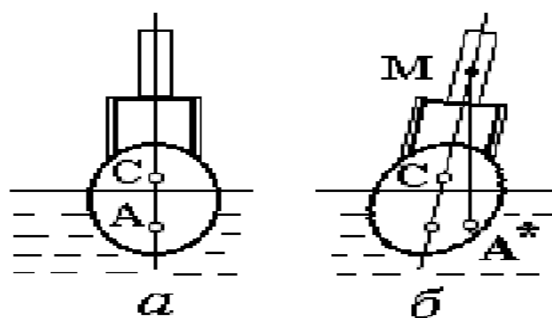
Ҳангоми $F_a = G$ ҷисм дар дохили моеъ ё газ шино мекунад.

Ҳангоми $F_a > G$ ҷисм ба болои моеъ мебарояд ва ҳангоми $F_a < G$ - ғарқ мешавад.

Ҳар гуна ҷисм, ки дар рӯи моеъ шино мекунад ($F_a > G$), барои аз ҳолати мувозинатӣ баровардани он, шакли ҳаҷми моеъ, ки боиси тағйирёбии мавқеи маркази болоравӣ нисбат ба ҷисми шинокунанда мегардад тағйир меёбад.

Дар ҳолати мувозинатӣ, маркази массаи киштӣ ва маркази болоравӣ дар як хати рост меҳобанд, ки бо меҳвари амудии симметрияи киштӣ мувофиқат мекунад.

Ҳангоми қач шудани киштӣ, маркази болобардорӣ нисбат ба кишти ба нуқтаи A^* мекӯчад (Расми 2, а, б). Қувваи Архимедӣ бошад аз нуқтаи A^* мегузарад ва хати таъсири қувва аз маркази меҳвари амудии симметрияи киштӣ дар нуқтаи M мегузарад, ки муттамарказ номида мешавад. Агар муттамарказ болотар аз маркази массаи кишти ҷойгир бошад, пас ҷуфти қувваҳои F_a ва G киштиро ба ҳолати аввалааш бармегардонад, ки мавқеи устувор ном дорад. Дар ин ҳолат мувозинатии кишти устувор мешавад [6].



Расми 2. Шарти мувозинати ҷисмҳо

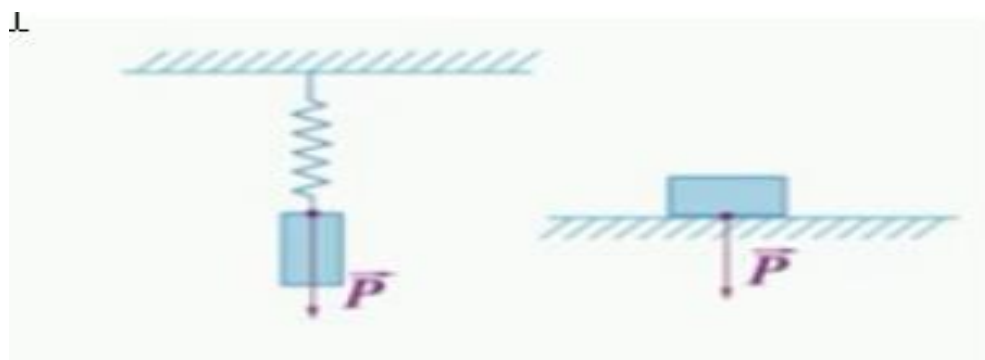
Агар муттамарказ дар зери маркази массаи киштӣ ҷойгир бошад, пас мувозинати он ноустувор аст. Қонуни Архимед дар асоси таъсири гидрометри – дастгоҳ барои чен кардани зичӣ, асос кунонида шудааст. Гидрометрҳои массаашон доимӣ – барои моеъҳо ва ҳаҷми доимӣ ва барои ҷисмҳои саҳт фарқкунандаанд.

Мақсади кори озмоишии мазкур муайян кардани қувваи теладиҳандае мебошад, ки ба ҷисми дар об ғўтондашуда таъсир мекунад. Таҷҳизот: штатив, динамометр, косаи ченкунӣ, маҷмуи вазнҳо. Номгуи таҷҳизотҳо дар равшанаи кори озмоишии расми 4 оварда шудааст.

Вазни ҷисм қувваест, ки ҷисм ба тақягоҳи беҳаракат ё овеза таъсир мекунад ва бо ҳарфи P ишорат карда мешавад. Воҳиди ченкуниаш дар СИ (нютон) мебошад (расми 3).

Қувваи теладиҳанда қувваест, ки бо он моеъ ё газ ба ҷисми дар он ғўтондашуда таъсир мерасонад.

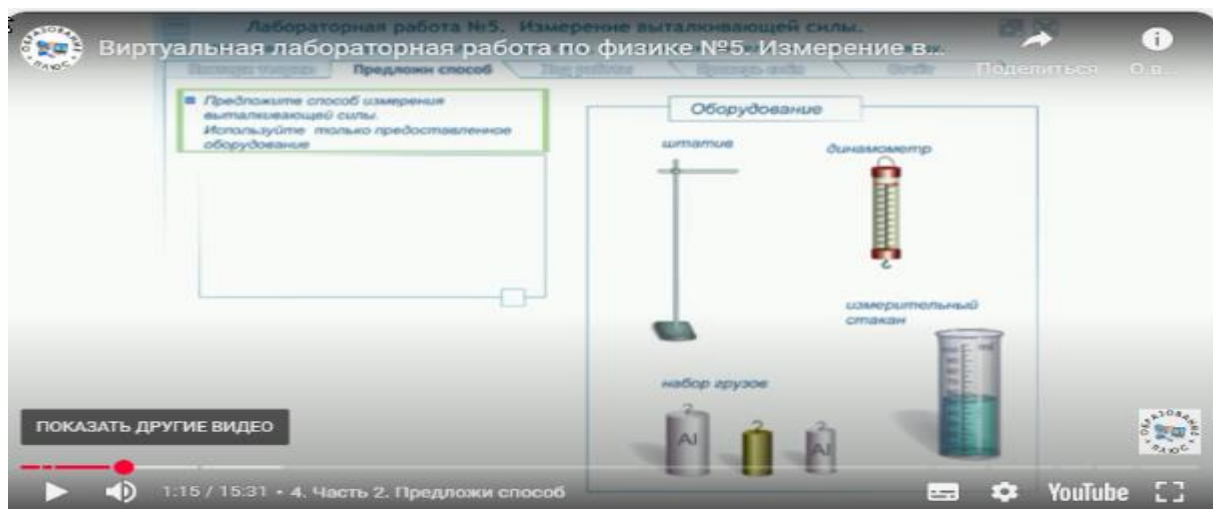
Қувваи теладиҳанда бо F_A ишора карда мешавад. Воҳиди ченакаш дар СИ N (нютон) мебошад.



Расми 3. Вазни ҷисме, ки ба тақягоҳ ё овеза таъсир мекунад

Қувваи теладиҳанда аз ҷиҳати ададӣ ба фарқи байни вазни ҷисм дар вакуум ва вазни ҷисми дар моеъ ё газ ғутонидашуда баробар аст:

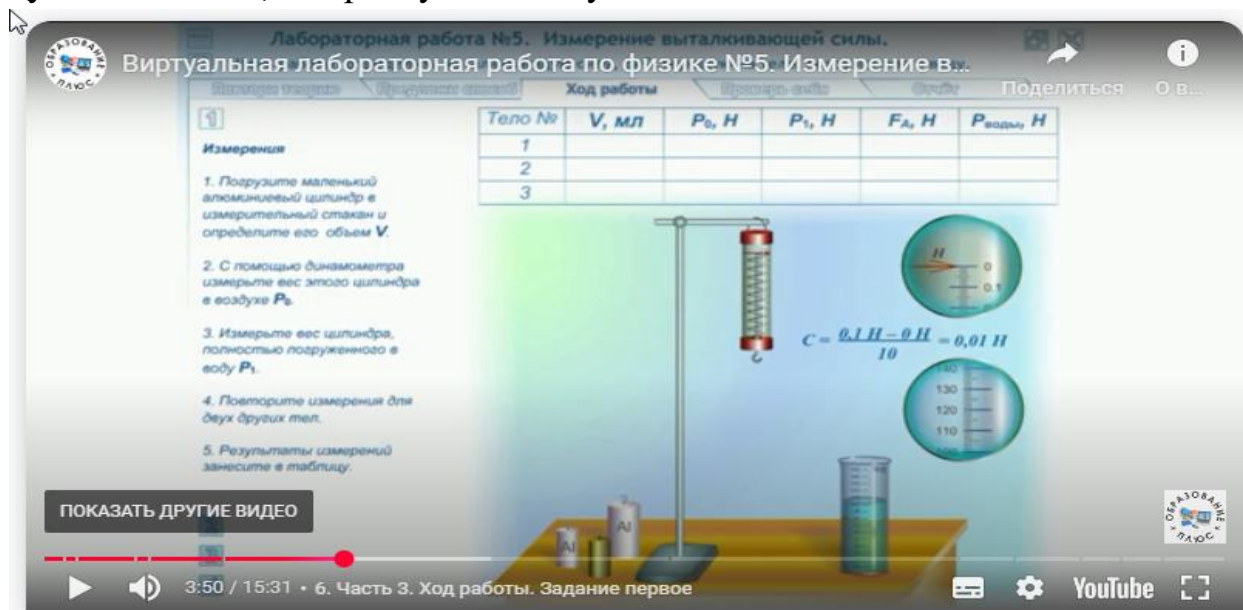
$$F_A = P_0 - P_1$$



Расми 4. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Усули андозагирии қувваҳои теладиҳандаро пешниҳод менамоем. Равзанаи кори озмоишии виртуалӣ дар расми 4 оварда шудааст[5].

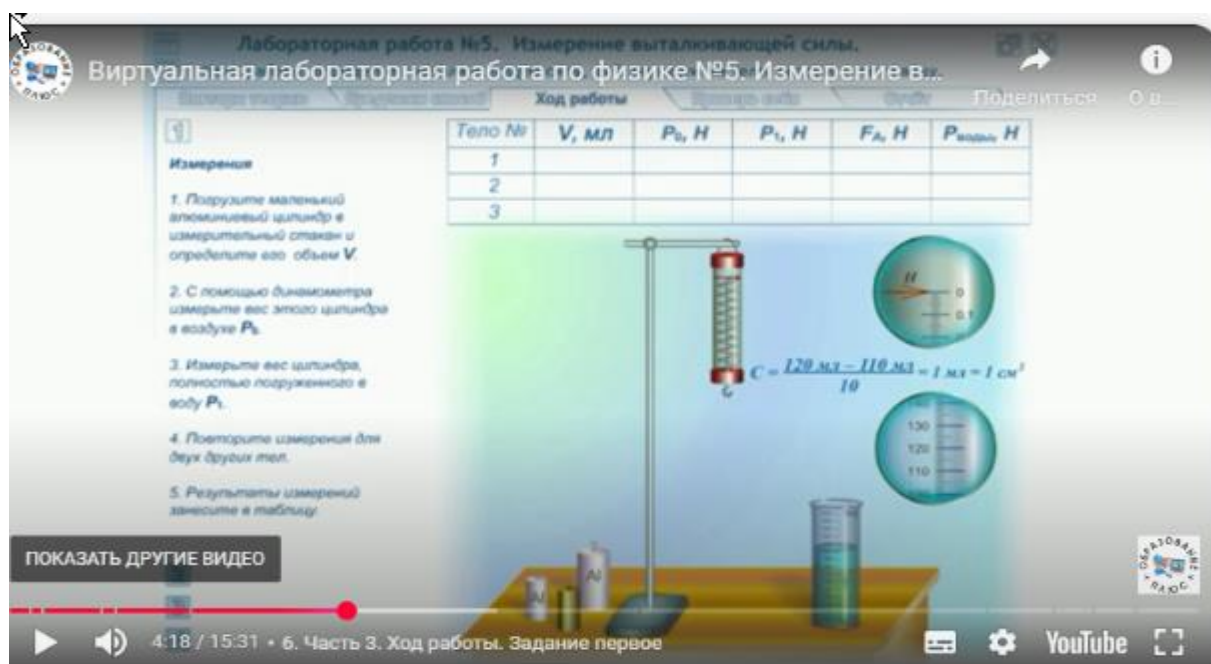
Танҳо аз таҷҳизоти пешниҳодшудае, ки дар равзана нишон дода шудааст истифода мебарем. Бо ёрии динамометр вазни борро аввал дар ҳаво муайян карда ва баъд борро ба зарфи андозагирии обдор мефарорем. Дар асоси фарқияти байни хонишҳои ибтидоӣ ва ниҳоии динамометр қувваи теладиҳандаро муайян мекунем.



Расми 5. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Ҳадди ақали ченкунии динамометрро бо муодилаи зерин муайян мекунем

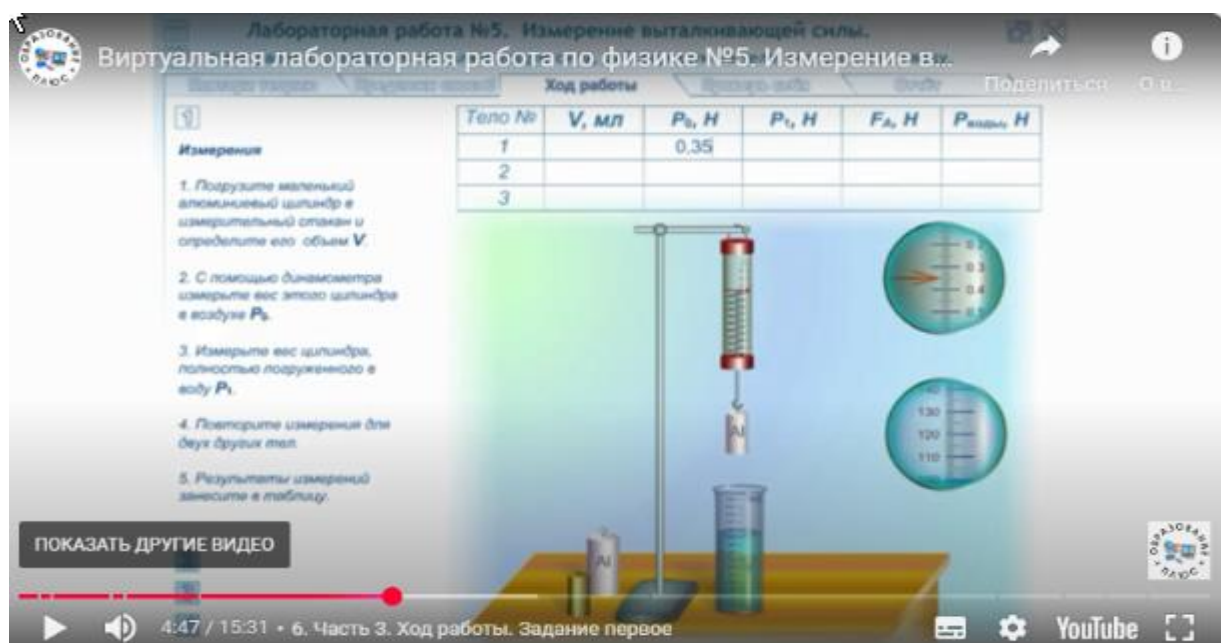
$$C = \frac{Z_2 - Z_1}{n} = \frac{0,1\text{Н} - 0\text{Н}}{10} = 0,01\text{Н}.$$



Расми 6. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Ҳадди ақали (диапазони) ченкунии зарфи андозагирӣ бо муодилаи зерин муайян карда мешавад

$$C = \frac{Z_2 - Z_1}{n} = \frac{120\text{мл} - 110\text{мл}}{10} = 10\text{мл} = 1\text{см}^3.$$



Расми 7. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Бо ёрии динамометр вазни ҷисм P_x - ро дар ҳаво муайян мекунем.

Бо ёрии динамометр вазни ҷисме, ки пурра ба об ғутонда шудааст P_1 -ро муайян мекунем.

Бузургии қувваи теладиҳандаро бо муодилаи зерин муайян мекунем:

$$F_A = P_x - P_1$$

Силиндри хурди алюминиро ба зарфи андозагирӣ гузошта, ҳаҷми он V -ро муайян мекунем.

Бо ёрии динамометр вазни цилиндр P_x -ро дар ҳаво муайян карда, натиҷаҳои ченшударо ба ҷадвал ворид мекунем.

Лабораторная работа №5. Измерение выталкивающей силы.
Виртуальная лабораторная работа по физике №5. Измерение вы...

Ход работы

Тело №	V, мл	P_0 , Н	P_1 , Н	F_A , Н	$P_{\text{жидк}} \text{ Н}$
1		0,35			
2					
3					

Измерения

- Погрузите маленький алюминиевый цилиндр в измерительный стакан и определите его объем V.
- С помощью динамометра измерьте вес этого цилиндра в воздухе P_0 .
- Измерьте вес цилиндра, полностью погруженного в воду P_1 .
- Повторите измерения для двух других тел.
- Результаты измерений занесите в таблицу.

ПОКАЗАТЬ ДРУГИЕ ВИДЕО

5:12 / 15:31 • 6. Часть 3. Ход работы. Задание первое

YouTube

Рас

ПОДЕЛИТЬСЯ

5:19 / 15:31 • 6. Часть 3. Ход работы. Задание первое

YouTube

ми
Равзанаи
кори

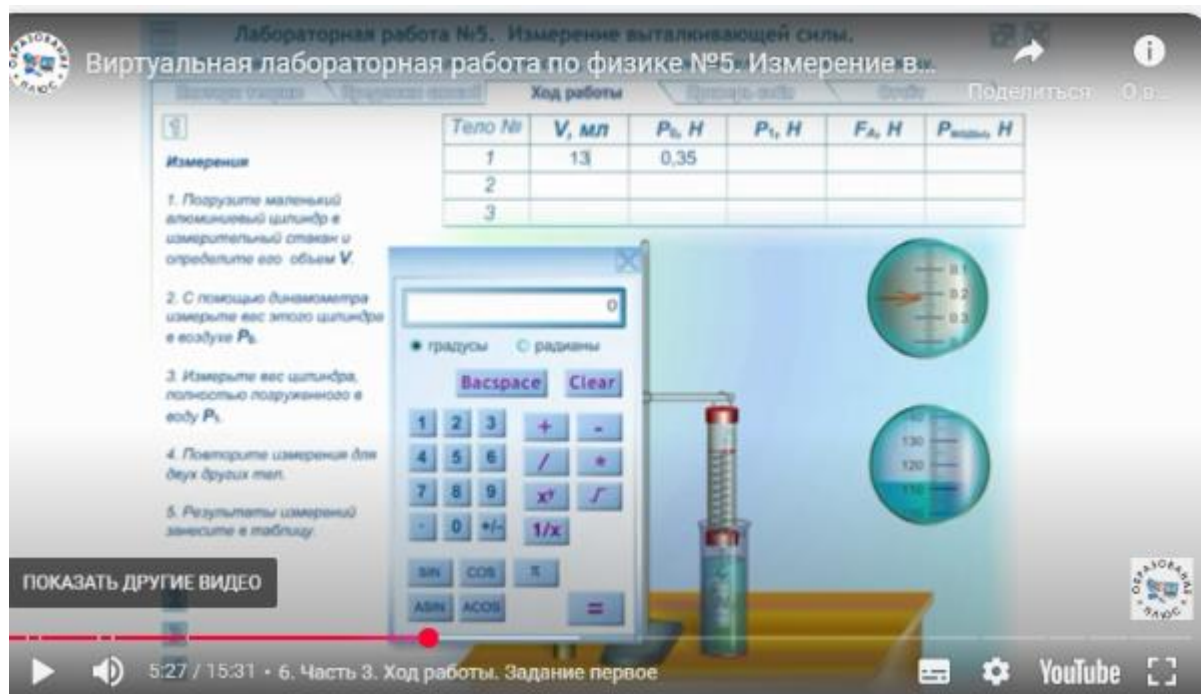
8.

озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Расми 9. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

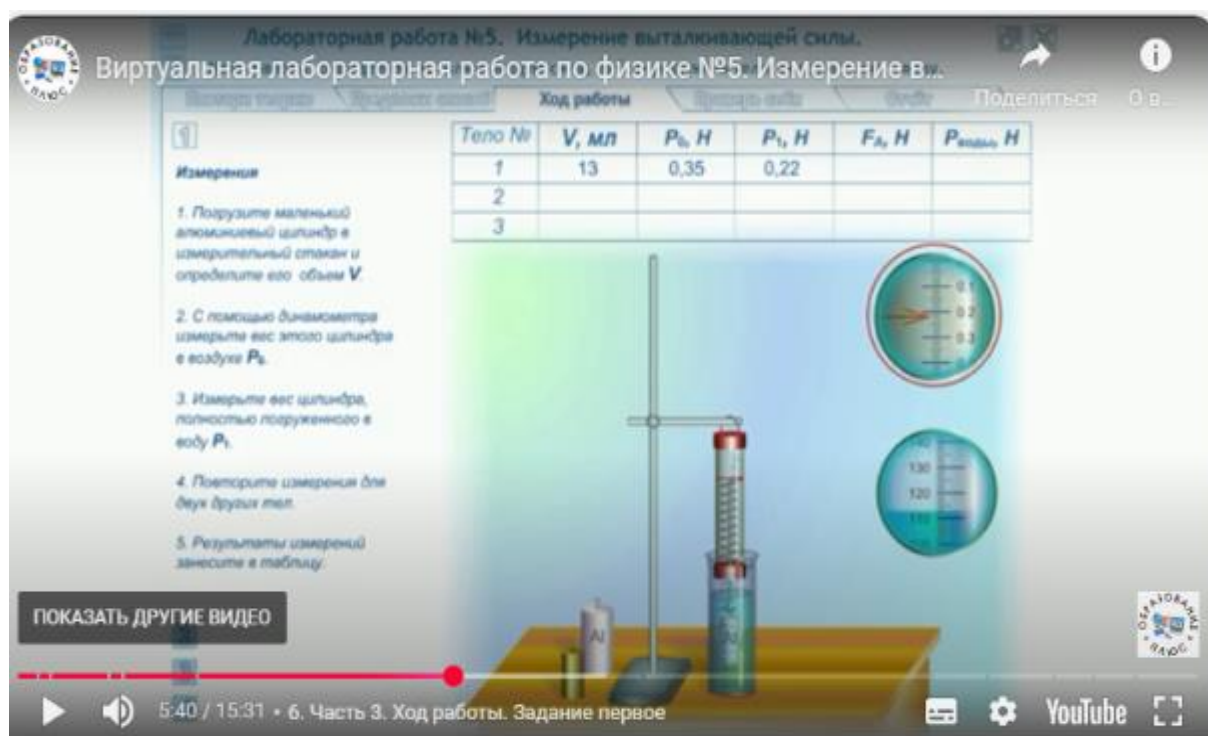
Силиндри хурди алюминиро ба зарфи андозагирии обдор ғутонда, хачми он V -ро муайян мекунем

$$V = 113 - 100 = 13.$$



Расми 10. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Вазни цилиндр P_1 – ро, ки пурра ба об ғутонида шудааст, чен мекунем. Натиҷаҳои ченкуниро ба ҷадвал ворид мекунем.



Расми 11. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Андозагириро барои дигар ҷисмҳо такрор намуда, натиҷаҳои ҷенкуниро ба ҷадвал ворид мекунем.

Лабораторная работа №5. Измерение выталкивающей силы.
Виртуальная лабораторная работа по физике №5. Измерение в...

Ход работы

Тело №	V , мл	P_0 , Н	P_1 , Н	F_A , Н	$P_{\text{весовы}}$, Н
1	13	0,35	0,22		
2	13	1	0,87		
3	37	1	0,63		

Вычисления

1. Для каждого тела вычислите выталкивающую (Архимедову) силу F_A как разницу между весом тела в воздухе P_0 и в воде P_1 .

2. Зная объем вытесненной воды, вычислите ее вес для каждого из трех цилиндров.
 $P_{\text{воды}} = V_{\text{вытесн}} \cdot \rho \cdot g$,
где $\rho_{\text{воды}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$, а ускорение свободного падения можем принять равным $10 \text{ (г} \approx 10 \text{ м/с}^2\text{)}$.

3. Результаты вычислений занесите в таблицу.

ПОКАЗАТЬ ДРУГИЕ ВИДЕО

8:16 / 15:32 • 7. Часть 3. Ход работы. Задание второе

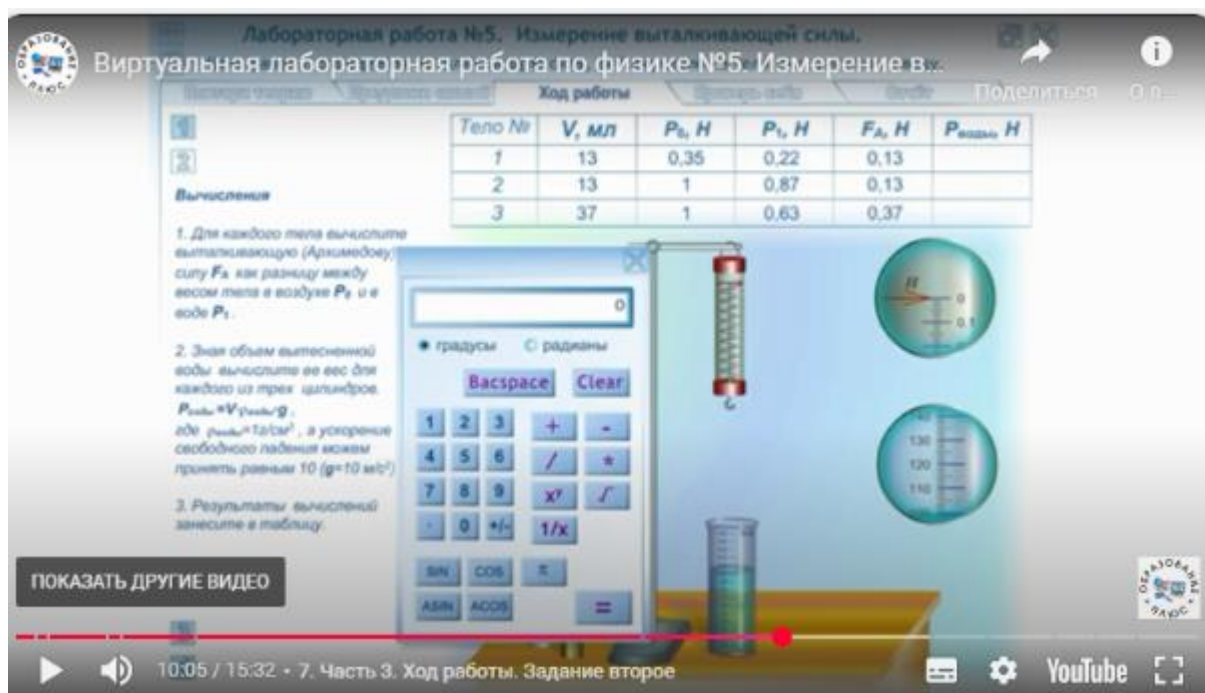
Расми 12. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Мо барои ҳар як ҷисм қувваи теладиҳанда F_A -ро ҳамчун фарқияти вазни ҷисм дар ҳаво P_0 ва дар об P_1 ҳисоб мекунем. Натиҷаҳои ҷенкуниро ба ҷадвал ворид мекунем.

$$F_A = P_0 - P_1 = 0,35\text{Н} - 0,22\text{Н} = 0,13\text{Н}.$$

$$F_A = P_0 - P_1 = 1\text{Н} - 0,87\text{Н} = 0,13\text{Н}.$$

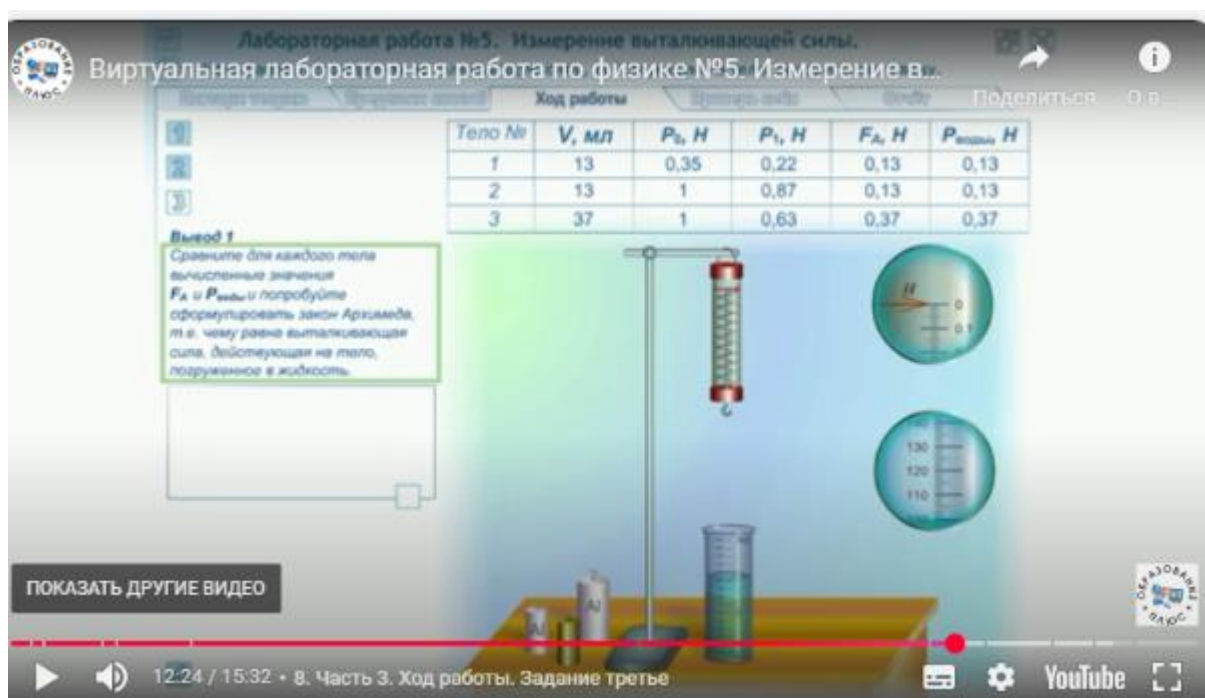
$$F_A = P_0 - P_1 = 1\text{Н} - 0,63\text{Н} = 0,37\text{Н}.$$



Расми 13. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Ҳаҷми оби фишурдашударо доништа, вазни онро барои ҳар як се цилиндр ҳисоб мекунем.

$P_{об} = V \times \rho_{об}/g$, ки дар ин ҷо $\rho_{об} = 1 \text{ г/см}^3$ шитоби афтиши озодеро ифода мекунад, ки ба $10 \text{ (г} = 10 \text{ м/с}^2\text{)}$ баробар аст.



Расми 14. Равзанаи кори озмоишии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”

Натиҷаҳои ҳисобшударо ба ҷадвали 1 ворид мекунем.

Ҷадвали 1.

Ҷисм №	V, мл	$P_B, Н$	$P_1, Н$	$F_A, Н$	$P_{\text{води}}, Н$
1	13	0,35	0,22	0,13	0,13
2	13	1	0,87	0,13	0,13
3	37	1	0,63	0,37	0,37

Бузургиҳои ҳисобшудаи F_A ва $P_{об}$ -ро барои ҳар як ҷисм муқоиса карда ва аз қонуни Архимед истифода бурда муайян мекунем, ки қувваи ба ҷисмҳои ба моеъ ғутонидашуда таъсиркунанда ба чӣ баробар аст.

Хулоса 1: Қувваи Архимедӣ ба вазни моеъе баробар аст, ки дар ҳаҷми он ҷисм фарқ шудааст.

Хулоса 2: Ба ҷисмҳои ҳаҷмашон калон қувваи бузурги теладиҳанда таъсир мекунад. Ин қувваҳо ба зичи ва вазни ҷисми додашуда вобаста нест.

Чи қадаре, ки ҳаҷми ҷисми ба об ғутондашуда калон бошад, қувваҳои теладиҳанда ҳамон қадар зиёд мешаванд. Қувваи теладиҳанда аз вазни ҷисми пурра дар моеъ ғутондашуда вобаста нест.

Хулоса, қайд кардан бамаврид аст, ки моделронии компютерӣ имкон медиҳад, ки корҳои озмоишии виртуалӣ дар дарсҳои физика дар мактабҳои таҳсилоти миёнаи умумӣ ва донишгоҳҳои олий ба таври васеъ истифода карда шавад.

Адабиёт

1. *Бутиков, Е.И.* Лаборатория компьютерного моделирования / *Е.И. Бутиков* // Компьютерные инструменты в образовании. - 1999. - №5. - С. 26.
2. *Гриншкун, В.В.* Образовательные электронные издания и ресурсы: учебно-методическое пособие для студентов педагогических вузов и слушателей системы повышения квалификации работников образования / *В.В. Гриншкун, С.Г. Григорьев.* -Курск: КГУ, М.: МГПУ, – 2006. – 98 с.
3. Живая физика. Комплекты компьютерных экспериментов: методические рекомендации /под ред. *В.В. Бронфман, С.М. Дунина.* – М.: ИНТ, 2001. - 238 с.
4. *Коновалец Л.С.* Виртуальный эксперимент с использованием компьютерных моделей/ *Л.С. Коновалец* // Физика – Первое сентября. - 2013. - № 12. - С. 21 - 23.

5. D Открытая физика 2.5. – Долгопрудный: ООО ФИЗИКОН, 2005.
6. Олимӣ А.Р. Алимов Н.О. Механика. Физикаи молекулавӣ ва термодинамика. – Данғара – 2022. –469с.
7. Пирмухаммад Нуров. Тарҷумаи мухтасари истилоҳоти русӣ-тоҷикии илмҳои табиатшиносӣ ва техникӣ.- Душанбе- 2013. –611с.
8. Трофимов, Т. Курси физика. / Т.И. Трофимов. - М: Маркази интишороти «Академия». – 2010. –560 с.
9. Савельев, И. В. Курс общей физики. -Т. 1. М.: Наука. –1982.
10. Савельев, И. В. Курс общей физики. - Т. 2. М.: Наука. –1978.
11. Савельев, И. В. Курс общей физики. - Т. 3. М.: Наука. –1979.
12. Тошбой Бобоев. Асосҳои физикии механика.Душанбе, 2012. – 143саҳ.

ОЗМОИШГОҲИ ВИРТУАЛӢ. МОДЕЛИ КОМПЮТЕРИИ “АНДОЗАГИРИИ ҚУВВАҲОИ ТЕЛАДИҲАНДА”

Фишурда. Дар ин мақола кори озмоишии виртуалиро вобаста ба фанни физика оид ба мавзӯи “Озмоишгоҳи виртуалӣ. Модели компютерии “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда” дида баромада шуд. Бояд қайд намуд, ки ташкили кори мустақилонаи донишҷӯён яке аз нуқтаҳои асосии муносири тайёр кардани мутахассисон мебошад.

Ҳамзамон, дар мақола имкониятҳои истифодаи технологияҳои иттилоотӣ ва коммуникатсионӣ дар раванди таълими фанни физика баррасӣ шудааст.

Модели компютери нобурда имкон медиҳад, ки донишҷӯён ва хонандагон ба равандҳои физикӣ аз наздик шиносӣ пайдо намоянд.

Калидвожаҳо: компютер, озмоишгоҳ, виртуалӣ, моделсозӣ, физика, вазн, қувва, қувваҳои теладиҳи, қувваи Архимедӣ.

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ. КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ «ИЗМЕРЕНИЕ ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЫ»

Аннотация. В данной статье представлена и рассмотрено, виртуальная экспериментальная работа, связанная с предметом физики на тему «Виртуальная лаборатория». Компьютерная модель «Измерение выталкивающей силы». Следует отметить, что организация самостоятельной работы студентов является одним из основных моментов подготовки современного специалиста.

Также, в статье рассматриваются возможности использования информационно-коммуникационных технологий в процессе обучения физике.

Вышеупомянутая компьютерная модель позволяет студентам и учащимся более подробно ознакомиться с физическими процессами.

Ключевые слова: компьютер, лаборатория, виртуальный, моделирование, физика, вес, сила, выталкивающие силы, сила Архимеда.

VIRTUAL LABORATORY. COMPUTER MODEL "MEASURING THE BUOYANT FORCE"

Annotation. This article presents and discusses a virtual experimental work related to the subject of physics on the topic "Virtual laboratory". Computer model "Measuring the buoyant force". It should be noted that the organization of independent work of students is one of the main points of training a modern specialist.

Also, the article discusses the possibilities of using information and communication technologies in the process of teaching physics.

The above-mentioned computer model allows students and pupils to become more familiar with physical processes.

Keywords: computer, laboratory, virtual, modeling, physics, weight, force, buoyant forces, Archimedes' force.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Умаров Анварҷон Нуралиевич – Донишгоҳи давлатии Данғара, номзади илмҳои техника, дотсенти кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Азимов Саидиброҳим – Донишгоҳи давлатии Данғара, номзади илмҳои физика математика, дотсенти кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 933310633.

Шодиев Муҳаммадҷон Сайдалиевич – Донишгоҳи давлатии Данғара, муаллими калони кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 885556595.

Наботов Юсуф Шоабдуллоевич – Донишгоҳи давлатии Данғара, номзади илмҳои педагогӣ, дотсенти кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 918420596. **E-mail:** yusufnabotov@yahoo.com.

Информация об авторах:

Умаров Анварджон Нуралиевич – Дангаринский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, н. э. Дангара, ул. Центральная, 25. **Телефон:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Азимов Саидиброхим – Дангаринский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, н. э. Дангара, ул. Центральная, 25. **Телефон:** (+992) 933310633.

Шодиев Мохаммадж Сайдалиевич – Дангаринский государственный университет, старший преподаватель кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, н. э. Дангара, ул. Центральная, 25. **Телефон:** (+992) 885556595.

Набатов Юсуф Шоабдуллоевич – Дангаринский государственный университет, кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, н. э. Дангара, ул. Маркази, 25. **Телефон:** (+992) 918420596. **E-mail:** yusufnabotov@yahoo.com.

Information about the authors:

Umarov Anvarjon Nuralievich – Dangara State University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, N. E. Dangara, Markazi str., 25. **Phone:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Azimov Saidibrohim – Dangara State University, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, N. E. Dangara, Markazi str., 25. **Phone:** (+992) 933310633.

Shodiev Mohammad Saidalievich – Dangara State University, Senior Lecturer at the Department of Informatics and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, N. E. Dangara, Markazi str., 25. **Phone:** (+992) 885556595.

Nabatov Yusuf Shoabdulloevich – Dangara State University, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, N. E. Dangara, Markazi str., 25. **Phone:** (+992) 918420596. **E-mail:** yusufnabotov@yahoo.com.

Муқарриз: Ризоев С.Ғ. – н.и.ф.-м.,
Донишгоҳи давлатии Данғара

Шарофӣ З.Ш., Каримов З.Д., *Умаров А.Н.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

*Донишгоҳи давлатии Данғара

Ба сифати нуқтаҳои раванашудаи ҳалли масъалаи Кеплер ҳаракати ду ҷисми бо ҳамдигар таъсиркунандаро ҳамчун нуқтаҳои материалӣ дида мебароем (расми 1).

Функсияи Лагранж чунин намуди системаҳоро дороем:

$$L = \frac{m_1 \dot{\vec{r}}_1^2}{2} + \frac{m_2 \dot{\vec{r}}_2^2}{2} - U(|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|) = \frac{m_1 \dot{\vec{r}}_1^2}{2} + \frac{m_2 \dot{\vec{r}}_2^2}{2} + \frac{\gamma m_1 m_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|}, \quad (1)$$

дар ин ҷо $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$ - радиус-векторҳои ҷисми якҷоя ва дуюм буда, $U(|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|)$ - энергияи потенсиалии ҷисми баҳам таъсиркунанда, γ - доимии ҷозиба мебошанд.

Вектори масофаи мутақобилаи ҳарду ҷисмро дохил мекунем:

$$\vec{r}_{12} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2 \quad (2)$$

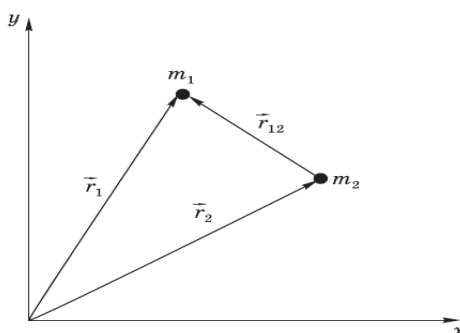
Он гоҳ дар системаи сарҳисоб бо координатаи ибтидоӣ дар маркази масса, системаҳои ҷисмро муоина менамоем [1]:

$$m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 = 0 \quad (3)$$

Аз (2), (3) меёбем:

$$\vec{r}_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \vec{r}_{12} \quad (4)$$

$$\vec{r}_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \vec{r}_{12} \quad (5)$$



Расми 1. Доир ба ҳалли масъалаҳои Кеплер

Ифодаҳои (4), (5) -ро ба (1) гузошта ҳосил мекунем:

$$L = \frac{m\vec{r}_{12}^2}{2} + U(|\vec{r}_{12}|) = \frac{m\vec{r}_{12}^2}{2} + \frac{\gamma m(m_1+m_2)}{|\vec{r}_{12}|} \quad (6)$$

дар ин чо ишора шудааст:

$$m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (7)$$

Бузургие, ки бо баробарии (7) муайян шудааст, одатан массаи овардашуда меноманд. Функцияи (6) расман бо функцияи Лагранж дар як нуқтаи материалии массаи m дошта мувофиқат намуда, бо потенциали $U(|\vec{r}_{12}|)$, симметрӣ нисбат ба ибтидои системаҳои сарҳисоби интихобшуда ҳаракат мекунад. Ҳамин тавр, масъала доир ба ҳаракати ду ҷисми баҳам таъсиркунанда ба ҳалли масъалаи ҳаракати ҷисми як масса m дошта, дар майдони додашудаи берунӣ $U(|\vec{r}_{12}|)$, маркази беҳаракати массаи $m_1 + m_2$ сохташуда, дохил менамоям. Қайд менамоям, ки агар массаи яке аз ҷисмҳои баҳам таъсиркунанда нисбатан аз массаи ҷисми дуюм хурд бошад, пас онро ҳамчун маркази беҳаракат ҷазбкунанда муоина намудан мумкин аст. Ва вобастагии ёфташудаи $\vec{r}_{12}(t)$ масири ҳаракати ҷисми хеле сабукро тавсиф медиҳад. Дар ҳолати баръакс, масъалаи ҳаракати ҷисмро бо массаи m дар потенциали $U(|\vec{r}|)$ ҳал намуда, аз рӯи вобастагии $\vec{r}(t)$ бо назардошти ифодаҳои (4), (5) масири ҳар як ҷангҳои $\vec{r}_1(t)$, $\vec{r}_2(t)$ ёфта мешаванд [4].

Бо истифодаи муодилаҳои Лагранж (дар ин чо координатаҳои умумикардаси радиус-вектори $\vec{r}_{12}(t)$, суръати умумишудаи координатаҳои вектори $\vec{r}_{12}(t)$ мебошанд)

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \vec{r}_{12}} = \frac{\partial L}{\partial \vec{r}_{12}} \quad (8)$$

муодилаи ҳаракати ҷисмро ҳосил мекунем

$$m \frac{d^2 \vec{r}_{12}}{dt^2} = - \frac{\gamma m(m_1+m_2)}{|\vec{r}_{12}|^3} \vec{r}_{12}, \quad (9)$$

ки он ҳангоми $m_1 \gg m_2$ будан, бо назардошти қонуни ҷозибаи умумичаҳонии Нютон намуди зайлро мегирад:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{\gamma m_1 m_2}{|\vec{r}|^3} \vec{r}, \quad (10)$$

Ду хусусияти муҳими қувваи ҷозиба, ки аз баробарии (10) бар меояд, қайд мекунем:

- қувва танҳо аз масофаи байни ҷисмҳо вобаста аст;
- қувваи рост равонашуда, аз маркази ҷисмҳои баҳам таъсиркунандаи мегузарад (чунин қувваҳо марказӣ номида мешаванд).

Нишон додан [8] мумкин аст, ки натиҷаи хусусияти нишон додашуда, нигоҳ доштани моменти импульси ҷисм мебошад:

$$m \frac{d^2 \vec{r}_{12}}{dt^2} = - \frac{\gamma m(m_1+m_2)}{|\vec{r}_{12}|^3} \vec{r}_{12} \quad (11)$$

дар ин ҷо $\vec{p} = m\vec{r}_{12}$ аст.

Моменти импульси нигоҳдошташуда дар навбати худ муқаррар мекунад, ки масири ҳаракати ҷисм дар майдони марказӣ дар ҳамвориеро воқеъ аст, ки он ба вектори L перпендикуляр мебошад. Ғайр аз он ҳаракати ҷисм шартҳои нигоҳдории энергияҳои пурраи

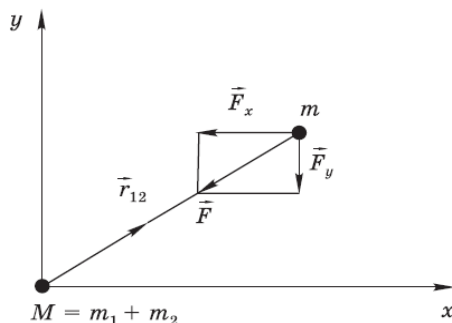
$$E = \frac{1}{2} m \vec{r}_{12}^2 - \frac{\gamma m(m_1+m_2)}{|\vec{r}_{12}|} \quad (12)$$

ва бузургҳои зеринро

$$[\vec{r}_{12} \times L] - \frac{\gamma m(m_1+m_2) \vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|} = const \quad (13)$$

маҳдуд менамояд.

Барои ҳалли муодилаи ҳаракат системаи координатаи росткунҷаеро интихоб мекунем, ки ибтидои он дар маркази масса ҷой гирифтааст (расми 2). Қайд мекунем, ки нисбат ба ҳалли аналитикии дар системаи координатаи қутбӣ хеле оддӣ ҳосил намуда, ҳалли ададии масъалаҳои Кеплерро дар системаи координатаи декартӣ ёфтан, хеле қулай мебошад.



Расми 2. Системаи координатаи истифодашуда оид ба тавсифи ҳаракати ҷисм зери таъсири мутақобилаи қувваи ҷозиба

Муодилаи ҳаракати (9) дар системаи координатаи интихобшуда намуди зайлро дорад:

$$m \frac{d^2 x_{12}}{dt^2} = - \frac{\gamma m(m_1+m_2)}{|\vec{r}_{12}|^3} x_{12} \quad (14)$$

$$m \frac{d^2 y_{12}}{dt^2} = - \frac{\gamma m(m_1+m_2)}{|\vec{r}_{12}|^3} y_{12} \quad (15)$$

Ифодаи $M = m_1 + m_2$ -ро дохил намуда ва зарбшавандаи умумиро ихтисор карда, системаи МД тартиби дуюмро барои ташкилкунандаи ифодаҳои (14), (15) дар намуди зерин менависем:

$$\frac{d^2 x_{12}}{dt^2} = - \frac{\gamma M}{(x_{12}^2 + y_{12}^2)^{3/2}} x_{12} \quad (16)$$

$$\frac{d^2 y_{12}}{dt^2} = - \frac{\gamma M}{(x_{12}^2 + y_{12}^2)^{3/2}} y_{12} \quad (17)$$

Ҳалли ададии системаи муодилаҳои (16), (17) пешакӣ маълум бударо беандозагирӣ намуда, ба сифати воҳиди ченак масофаи радиуси мадор R ва вақт-даври гардиши T ҳаракати ҷисм аз рӯи давра қабул менамоем. Ҳамин тавр, тағйирёбандаҳои беандозаро $X = \frac{x_{12}}{R}, Y = \frac{y_{12}}{R}, \tau = t/T$, дохил кардан мумкин аст. Дар ифодаҳои (16), (17) ивази тағйирёбандаҳои $x \rightarrow X, y \rightarrow Y, t \rightarrow \tau$, -ро иҷро намуда ҳосил мекунем:

$$\frac{d^2 X}{d\tau^2} = - \frac{\gamma M T^2}{R^3 (X^2 + Y^2)^{3/2}} X, \quad (18)$$

$$\frac{d^2 Y}{d\tau^2} = - \frac{\gamma M T^2}{R^3 (X^2 + Y^2)^{3/2}} Y \quad (19)$$

Чӣ тавре, ки маълум аст, ҳангоми ҳаракати ҷисм аз рӯи давра бузургии шитоби марказрав a , бо радиуси мадорҳои давра $|\vec{R}|$ ва суръати ҷисм $|\vec{v}|$ бо баробарии зерин алоқаманд мебошанд:

$$a = \frac{|\vec{v}|}{|\vec{R}|} \quad (20)$$

Ҳангоми ҳаракат дар майдони ҷозиба аз рӯи давра, шитоби марказрав шартан қувваи ҷозиба ҳисобида мебошад. Масалан,

$$\frac{m|\vec{v}|}{|\vec{R}|} = \frac{\gamma m M}{|\vec{R}|^2} \quad (21)$$

аз ин ҷо бар меояд, ки:

$$|\vec{v}| = \left(\frac{\gamma M}{|\vec{R}|} \right)^{1/2} \quad (22)$$

Ифодаи (21) шarti умумӣ барои дилхоҳ мадори давра мебошад, ки ёфтани вобастагии даври ҳаракат аз радиуси мадорро имкон медиҳад:

$$T = \frac{2\pi |\vec{R}|}{|\vec{v}|} \quad (23)$$

бинобар ин ба баробарии (22) ифодаи (21) -ро гузошта, ҳосил мекунем:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 |\vec{R}|^3}{|\vec{v}|}} \quad (24)$$

Ифодаи (23) -ро ба баробариҳои (18), (19) гузошта, охиран системаи муодилаи беандозаро ҳосил мекунем:

$$\frac{d^2 X}{d\tau^2} = -\frac{4\pi^2}{(X^2 + Y^2)^{3/2}} X, \quad (25)$$

$$\frac{d^2 Y}{d\tau^2} = -\frac{4\pi^2}{(X^2 + Y^2)^{3/2}} Y, \quad (26)$$

Аз муодилаҳои (25), (26) маълум аст, ки онҳо универсиалӣ мебошанд, чунки ба онҳо на даври гардиши ҷисм дар атрофи майдони марказӣ ва на радиуси мадор шомил аст. Мутаносибан, бузургии T^2/R^3 -ро ба баробариҳои (17), (18) дохил буда, барои ҳамаи ҷисмҳо якхела аст. Чунки ҳаракати онҳо дар майдони ҷозиба аз рӯи масири сарбаста амалӣ мешавад. Натиҷаи мазкур исботи ҳақиқии қонуни сеюми Кеплер мебошад.

Адабиёт

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики. Механика. М.: Физматгиз, 1958.
2. Гольдштейн Г. Классическая механика. М.: Мир, 1974.
3. Анпель П. Теоретическая механика. М.: ГИФМЛ, 1960.
4. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. Ч. 1. М.: Мир, 1990.
5. Хеннер Е. К., Шестаков А. П. Математическое моделирование. Пермь: Пермский государственный педагогический университет, 1995.
6. Abelson H., A. di Sessa, L. Rudolph, Velocity Space the Geometry of Planetary Orbits, Am. J. Phys., 43, 579 (1975).
7. Di Sessa, A. Orbits: A Mini-Environment for Exploring Orbital Mechanics. In *Computers in Education*, edited by O. Lecarme and R. Lewis, 359. North-Holland, 1975.
8. Порошинев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB учебное пособие, издание второе, исправленное. Санкт-петербург-москва- краснодар. 2011г.

МОДЕЛИ МАТЕМАТИКИИ ҲАРАКАТИ МУТАҚОБИЛАИ ДУ ҶИСМ

Ғишӯрда. Масъала оид ба ҳаракати сайёра дар майдони ҷозибаи ҷирмҳои осмонӣ, ҳолати хусусии он доир ба ҳаракат дар майдони қувваи марказӣ

мебошад. Ин масъала тӯли якчанд ҳазорсолаҳо маълум буда, дар замони муосир дар фанҳои мактабии физика ва астрономия, ҳамчунин дар фанҳои мактаби олии механикаи классикӣ ва астрономия муоина гардида, омӯхта мешаванд.

Дар кор санчиши қонуни дуҷуи Кеплер ва майдони радиус-вектори тайшударо дар фосилаҳои баробари вақт муқоиса намуда, қимати тавсифии кинематикии ҳаракати ҷисмро дар майдони ҷозиба истифода бурда шудааст. Аз ин лиҳоз, ҳалли адабии системаҳои муодилаи дифференсиалии ҳосилшавандаро ба матрисаи баргарданда овардан зарур аст. Хотир нишон менамоем, ки андозанокии матрисаи ҳосилшаванда ҳалли системаҳои муодилаҳои дифференсиалиро дар бар гирифта ба $N \times 4$ баробар аст.

Калидвожаҳо: масир, радиус, вектор, потенциал, сайёра, ҷозиба, масса, симметрия, қувва.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМНОГО ДВИЖЕНИЯ ДВУХ ТЕЛ

Аннотация. Проблема движения планеты в поле тяготения небесных тел является ее частным случаем движения в поле центральной силы. Эта проблема известна уже несколько тысяч лет и в настоящее время рассматривается и изучается в школьных предметах физики и астрономии, а также в предметах классической механики и астрономии в высшей школе.

В работе сравнивались проверка второго закона Кеплера и пройденное радиус-векторное поле через равные промежутки времени, а также использовалось описательное значение кинематики движения тела в гравитационном поле. С этой точки зрения необходимо численное решение систем дифференциальных уравнений привести к обратной матрице. Отметим, что размерность полученной матрицы равна $n \times 4$, включая решение систем дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: траектория, радиус, вектор, потенциал, сфера, гравитация, масса, симметрия, сила.

MATHEMATICAL MODEL OF THE MUTUAL MOTION OF TWO BODIES

Annotation. The problem of the movement of the planet in the gravitational field of celestial bodies is its special case of movement in the field of central force. this problem has been known for several thousand years, and in modern times it is examined and studied in the school subjects of physics and astronomy, as well as in the subjects of classical mechanics and astronomy in the higher school.

In the work, the test of Kepler's second law and the traversed radius-vector field were compared in equal time intervals, and the descriptive value of the kinematics of the body's movement in the gravitational field was used. from this point of view, it is necessary to bring the numerical solution of differential equation systems to the return matrix. Note that the dimension of the resulting matrix is equal to $n \times 4$, including the solution of systems of differential equations.

Keywords: trajectory, radius, vector, potential, sphere, gravity, mass, symmetry, force.

Маълумот дар бораи муаллиф:

Шарофӣ Зайниддин Шарофзода – номзоди илмҳои техники, муаллими калони кафедраи мошинҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳои факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 7340425, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдаки, 17. **Телефон:** (+992) 934-22-89-78. **E-mail:** asomiddinov_zainiddin@mail.com

Каримов Зоир Давлатбеғович – номзоди илмҳои физика-математика, муаллими калони кафедраи мошинҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳои факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. **Суроға:** 7340425, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдаки, 17. **Телефон:** (+992) 933-04-11-39. **E-mail:** kdzoir@mail.ru.

Умаров Анварҷон Нуралиевич – Донишгоҳи давлатии Данғара, номзоди илмҳои техники, дотсенти кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Сведения об авторе:

Шарофи Зайниддин Шарофзода – Таджикский национальный университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры вычислительных машин, систем и сетей. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 934-22-89-78. **E-mail:** asomiddinov_zainiddin@mail.com.

Каримов Зоир Давлатбеғович – Таджикский национальный университет, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры вычислительных машин, систем и сетей. **Адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. **Телефон:** (+992) 933-04-11-39. **E-mail:** kdzoir@mail.ru.

Умаров Анварҷон Нуралиевич – Дангаринский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, н. э. Данғара, ул. Маркази, 25. **Телефон:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Information about the author:

Sharofi Zainiddin Sharofzoda – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department computers, systems and networks of the Fisycal Faculty of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) 934-22-89-78. **E-mail:** asomiddinov_zainiddin@mail.com.

Karimov Zoir Davlatbtgovich – Tajik National University, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Computers, Systems and Networks of the Fisycal Faculty of the Tajik National University. **Address:** 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. **Phone:** (+992) (+992) 933-04-11-39. **E-mail:** kdzoir@mail.ru.

Umarov Anvarjon Nuralievich – Dangara State University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, N. E. Dangara, Markazi str., 25. **Phone:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Муқарриз: Ризоев С.Ғ. – н.и.ф.-м., Донишгоҳи давлатии Данғара

ТАҲҚИҚИ ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ МЕХАНИКИИ МАССИВҲОИ САНГИИ НАҚБҲОИ ГИДРОТЕХНИКӢ ПАС АЗ РЕЧАИ ТҶУЛОНИИ ИСТИФОДАБАРӢ

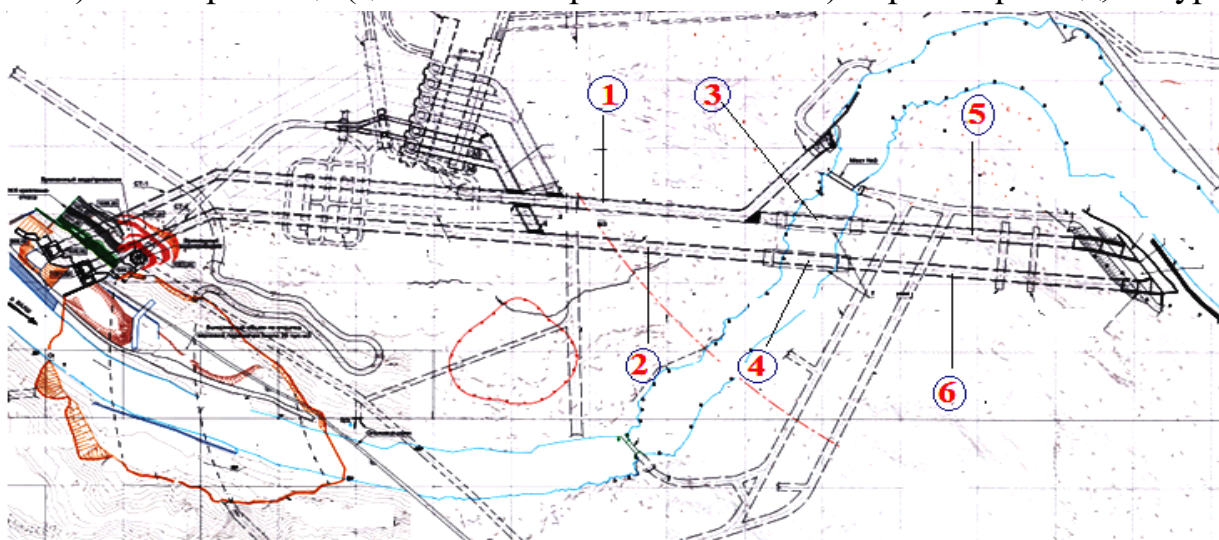
Тоирзода С.Т.

Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ

Ба нақбҳои сохтмони соҳили чапи қабатҳои 1 ва 2 саракҳои даромадгоҳ (порталҳо), қисмати фишори таъминот, васлу насби дарвоза бо қисмҳои ҷуфтшавӣ; қитъаи поёнобии озод, ки бо нақбҳои баромади истгоҳи электрикии обӣ пайваст карда шудааст; нақби ёрирасон дохил мешавад. Нақбҳо буридани ҷӯякшакл доранд, баландии мутлақи портали даромадгоҳи нақби қабати якум 990,0 м ва дуҷум 999,0 м-ро ташкил медиҳад [11].

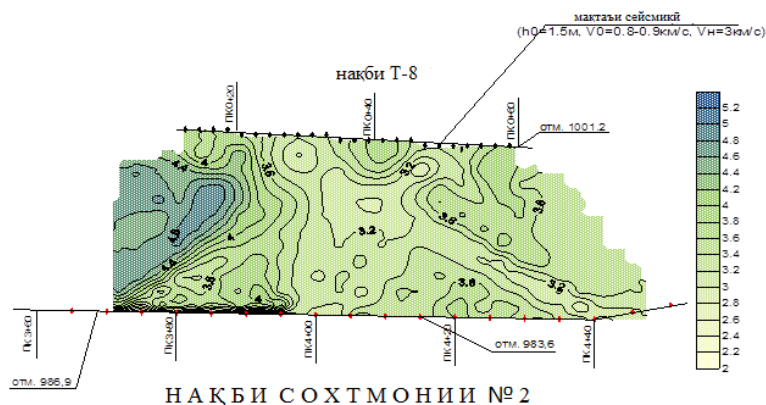
Шароити кӯҳӣ – геологӣ ба истифодадиҳии нақбҳои сохтмони соҳили чапи №1 ва 2 асосан бо хусусиятҳои сохти геологӣ массивҳои чинсҳои атроф муайян карда мешавад.

Ҳарду нақби сохтмони соҳили чап ба ҳамдигар субпараллелӣ мегузаранд (расми 1.) ва дар самти шимол ба ҷануб аз аргиллитҳои намакдор ва гачдори сурху қаҳваранги қабати гаурдаки юраи болоӣ (J_3gr) ки дорои ғафсии аз 17-20 м ҳастанд ва таҳшинҳои континенталии бӯри поёнӣ (K_1), ғафсии умумӣ наздик ба 840 м, ки аз регсангҳо (қабатҳои Қизилтош K_1kz , Обигарми боло K_{1ob2} , Қаракуз K_1kr) ва алевролитҳо (қабати Обигарми поёнӣ K_{1ob1}) таркиб ёфтаанд, мебуранд.



Расми 1. Нақшаи ҷойгиршавии нақбҳои сохтмони НС-1 ва НС-2 НОБ —и
Рогун: 1- нақби сохтмони НС-1; 2- нақби сохтмони НС-2; 3- қитъаи
гузариши НС-1; 4- қитъаи гузариши НС-2; 5- қитъаи интиҳои НС-1; 6-
қитъаи интиҳои НС-2.

Дар соли 2005 пас аз идомаи корҳо дар мавзеи иншооти зеризаминӣ маҷмӯи тадқиқоти геофизикӣ бо истифода аз усулҳои сейсмикӣ ва ултрасадоӣ гузаронида шуданд [10]. Аз ҷумла, дар байни ПК 0+10-0+60 нақби нақлиёти Т-8 ва ПК 3+70-4+30 нақби сохтмони НС-2 рӯшноидиҳии сейсмикӣ гузаронида шуд. Натиҷаҳои ин таҳқиқот дар расми 2 оварда шудаанд.



Расми 2. Натиҷаҳои рӯшноидиҳии сейсмикӣ байни нақби нақлиёти Т-8 ва нақби сохтмони НС-2 (соли 2005)

Мавриди омӯзиш ҷинсҳои свитаи Қизилтош қарор гирифтанд ва мавҷудияти онҳо тасдиқ карда шудаанд. Мувофиқи маълумоти шуоъдиҳии сейсмикӣ дар ҳамвории субвертикалӣ суръати мавҷҳои тӯлии диапазони сейсмикӣ дар ҳудуди 3,0-5,0 км/с тағйир меёбад. Бузургии намоёни минтақаи борфарорӣ аз ҷониби нақби сохтмонӣ қариб 7 метр, дар фарши нақби Т-8 бошад қариб 1,5 метр аст.

Дар минтақаи пошхӯрӣ дар НС-2, дар девори муқобил (рост) минтақаи қиматҳои ниҳоят пасти $V_p = 2,20-3,00$ км/с муайян карда шуд. Минтақаи аномалии зикршуда тахминан қад-қад азимути хобиши системаи тарқишии 4-ум самтнок шуда, аз ПК 4+42 до ПК 4+58. -ро фаро мегирад. Ин минтақа ҳамчун минтақаи фаромадани афтиши нав шарҳ дода шуд. Илова бар ин, дар пикетҳои 4+30 ва дар пикетҳои 4+83 – 4+90 боз ду минтақаи заифшуда муайян карда шуданд.

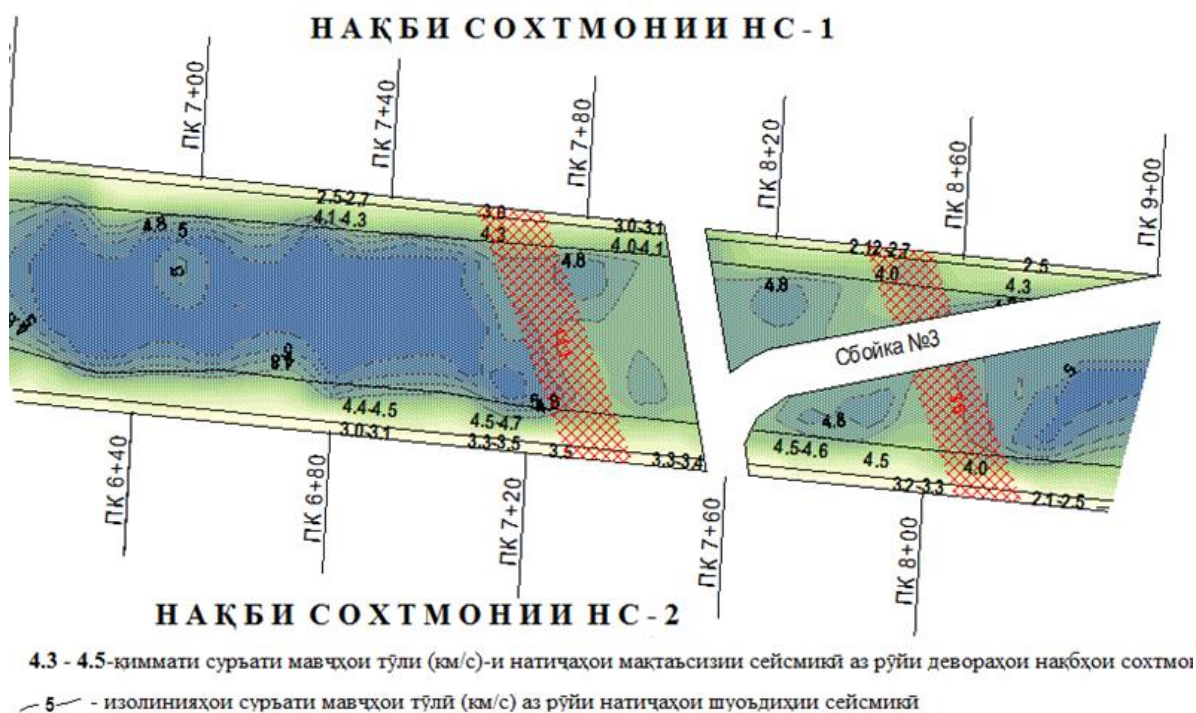
Дар асоси натиҷаҳои мақтаъсозии сейсмикӣ дар ҳар ду девор барои нақбҳои сохтмони ярусҳои 1-ум ва 2 - юм буриши геологии сейсмикӣ сохта шуд. Ҷинсҳои свитаҳои Қизилтош K_{1kz} , Обигарми поён K_{1ob1} , Обигарми боло K_{1ob2} ва Қарауз K_{1kr} дар ин ҷо мавриди омӯзиш қарор дода шуданд. Барои ҳар ду нақб ду минтақаи борфарорӣ – пуршиддат ва суст ошкор карда шуд.

Сутуни таҳқиқшуда аз регсангҳои свитаҳои Обигарми боло K_{1ob2} ва Қарауз K_{1kr} иборат аст. Дар расми 3 натиҷаҳои шуоъдиҳии сейсмикӣ байни

ПК 6+44-9+04 нақби сохтмони НС-1 ва ПК 6+17-8+45 нақби сохтмони НС-2 дар шакли харитаи изолинияҳои суръат нишон дода шудааст.

Дар ин ҷо инчунин қиматҳои суръати мавҷҳои тӯлӣ дар минтақаҳои борфарории фаёл ва заиф дар асоси натиҷаҳои мақтаъсозии сейсмикӣ дар девораҳои нақб нишон дода шудаанд. Барои қитъаҳои нигоҳдошташудаи массив қиматҳои суръати мавҷҳои тӯлӣ $V_p = 4800-5200$ м/с, ҳам барои таҳшиниҳои Обигарми боло ва ҳам барои Қарауз – ро ташкил медиҳанд.

Байни ПК 7+60-8+60 – и нақби НС-1 ва ПК 7+20-8+20 – и нақби НС-2 дар таҳшиниҳои Обигарми боло ва дар сарҳади таҳшиниҳои Қарауз минтақаи сустшуда ҷудо карда мешавад, ки дар он қимати V_p то 4600-4800 м/с кам мешавад. Ин камшавӣ бо таъсири ду таркиш (рақамҳои 111 ва 35), инчунин таъсири минтақаи борфарории атрофи разряди №3, ки дар ин ҷо воқеъ аст, шарҳ додан мумкин аст.



Барои минтакаи тарқишнок (ПК4+90-5+00 НС-2, девори рост) $V_p=2800\text{м/с}$ дар минтакаи борфарории ғаъол, $V_p=3700\text{м/с}$ дар минтакаи борфарории заиф ва $V_p=4500-4800\text{м/с}$ дар массив аст. Ғафсии минтакаи ғаъоли борфарорӣ 1-3 метр, ғафсии минтакаи борфарории заиф 5-7 метр мебошад. Дар минтакаи тарқишнокии ғаъол ғафсии минтакаи сусти борфарорӣ то 10 м зиёд мешавад.

Алевролитҳои қабати Обигарми поён K_{10b2} бо роҳи мақтаъсозӣ аз рӯи деворҳои нақбҳои сохтмонӣ, инчунин шуоъдиҳии сейсмикии байни наздикшавии П-25 ва НС-2, инчунин байни П-25 ва Т-8 омӯхта шуданд. Қиматҳои суръати мавҷҳои тӯлӣ барои массиви вайроннашуда $V_p=2500-2800\text{м/с}$ дар минтакаи борфарории ғаъол, $V_p=3500-4400\text{м/с}$ дар минтакаи борфарории заиф ва $V_p=4900-5200\text{м/с}$ барои чинсҳои вайроннашуда маънидод карда мешаванд.

Дар минтакаи тарқишнокии заиф $V_p=2000-2700\text{м/с}$ барои минтакаи борфарории ғаъол, $V_p=3600-4100\text{м/с}$ барои минтакаи борфарории заиф $V_p=4800-5000\text{м/с}$ барои массиви нисбатан вайроннашуда. Ғафсии минтакаи борфарории ғаъол 1-2 метр, дар минтакаи тарқишдор - 1,5-3,5 метр, ғафсии минтакаи борфарории заиф мутаносибан 4-6 метр ва 6-10 метрро ташкил медиҳад.

Хусусиятҳои регсангҳои қабати Обигарми боло K_{10b2} бо роҳи мақтаъсозии сейсмикӣ қад-қади деворҳои нақбҳои сохтмонӣ ва шуоъдиҳии байни онҳо омӯхта шуданд. Қиматҳои суръати мавҷҳои тӯлӣ дар ин ҷо $V_p=2500-3200\text{м/с}$ барои минтакаи борфарории ғаъол, $V_p=4000-4300\text{м/с}$ барои минтакаи борфарории заиф ва $4700-5200\text{м/с}$ барои массиви нисбатан вайроннашуда қабул шудаанд.

Дар қитъаҳои таъсири тарқишҳо №111 ва №35 - $V_p = 1700-2200\text{ м/с}$ барои минтакаи борфарории ғаъол, $V_p = 3300-4100\text{ м/с}$ барои минтакаи борфарории заиф ва $V_p = 4600-4800\text{ м/с}$ барои массив аст. Ғафсии минтақаҳои муайяншуда барои борфарории ғаъол 2-3 метр ва барои минтакаи борфарории заифи минтақаҳои вайроннашуда 4-6 метр ва барои минтақаҳои тарқишнокии суст мутаносибан 3-4 метр ва 5-8 метрро ташкил дод.

Бояд қайд кард, ки дар девори чапи НС-2 барои минтақаҳои борфарории ғаъол ва заиф қиматҳои нисбатан баланд ($V_p=3300-3500\text{м/с}$ ва $V_p=4400-4700\text{м/с}$) ба даст омадаанд, ки инро метавон бо мавҷудияти ПК 6+34-7+85 дар деворҳои оҳану бетонӣ шарҳ дод. Мақтаъи девори чапи НС-2, эҳтимол аст, аз хати анкерӣ гузаштааст, ки ин ба натиҷаҳои бадастомада таъсир расонд.

Регсангҳои свитаи Қарауз, ки бо роҳи мақтаъсозӣ қад-қадӣ деворҳои нақбҳои сохтмонӣ ва шуоъдиҳии байни онҳо омӯхта шудаанд, бо қиматҳои $V_p = 2500-2700$ м/с барои минтақаи борфарории ғаёол, $V_p = 4300-4350$ м/с барои минтақаи борфарории заиф ва барои массиви нигоҳдошташуда $V_p = 0-5802$ тавсиф мешаванд.

Дар минтақаи таъсироти тарқишнокӣ $V_p=2000-2100$ м/с дар минтақаи борфарории ғаёол, $V_p=3400-3500$ м/с дар минтақаи борфарории суст ва $V_p=4500-4800$ м/с барои массиви нисбатан вайроннашударо ташкил медиҳанд. Ғафсии минтақаҳои борфарории ғаёол 1-2 м, заиф - 3-6 м, дар минтақаи тарқишнокии ғаёол мутаносибан 2-3м ва 5-8м буд.

Дар минтақаи фурӯнишинӣ, ки соли 1991 дар ПК 7+70-8+41 (байни тарқишҳои № 35 ва № 111) дар нақби сохтмони НС-1 рух дода буд, аз рӯи мақтаъи сейсмикӣ ва шуоъдиҳии сейсмикӣ массиви шахӣ бо қиматҳои $V_p = 4500-490$ м/с, дар минтақаи борфарории ғаёол – $V_p=2500-3100$ м/с, дар минтақаи борфарории заиф – $V_p=3300-4100$ м/с тавсиф карда мешаванд. Дар ин ҷо зиёдшавии ғафсии минтақаи борфарорӣ то 8 метр ба мушоҳида мерасад.

Дар мавзеи вайроншавии нақби сохтмони НС-2, ки соли 1993 дар девори ростии ПК 4+25-5+00 рух дода буд, дар асоси натиҷаҳои мақтаъсозии сейсмикӣ барои массиви нисбатан вайроннашуда қиматҳои $V_p = 4500-4700$ м/с ба даст омадаанд, $V_p = 2800$ м/с = 2800 м/с 00 м/с барои минтақаи борфарории заиф буд.

Дар девораи муқобил, дар минтақаи фурӯравии пешбинишуда аз девораи чапи НС-2, ин қиматҳо барои массиви нисбатан вайроннашуда 4500 м/с, барои минтақаи борфарории ғаёол 2800 м/с ва барои минтақаи борфарории заиф 3300-3500 м/с буд, ки нисбат ба натиҷаи соли 2009 ба даст оварда аст, ки тадбирҳои андешидашударо оид ба устуворсозии массив дар ин қитъа мефаҳмонад.

Аз рӯи натиҷаҳои мақтаъсозии ултрасадоӣ дар сатҳи бетон дар оғози нақби сохтмони НС-1 бетон ба навъи М250, ба истиснои ПК 0+24 (М350) ва ПК 0+10 (М450), ки ба сифати хубу аъло мутобиқат мекунад.

Дар нақби НС-2 ба бетони ПК 0+21 ва 0+23 (тарафи чап) навъи М250 рост меояд, дар тарафи ростии ПК 0+23 навъи М350 гирифта шудааст, ки ин ҳам аз сифати хуб гувоҳӣ медиҳад. Аммо дар ПК0+25 НС-2 ҳолати бетон бадтар аст – дар тарафи рост он ба навъи М150, дар арк бошад – ба М200 мувофиқ аст.

Дар минтақаи алоқаи ғайриқаноатбахши «бетон-шах»-и муайяншуда дар қисми камондори НС-1 оид ба ПК5+80-6+96

нишондихандаҳои хеле баланди сифати бетон ба даст оварда шуданд, ки он ба навъҳои М400 ва М450 мувофиқ аст. Ин натиҷа аз он гувоҳӣ медиҳад, ки сифати пасти алоқа ба эҳтимолияти тағйирёбии литологи чинсҳои кӯҳӣ дар ин ҷо (сарҳади байни алевролитҳои Обигарми поён ва регсангҳои Обигарми боло) вобаста аст.

Хулосаҳо

1. Дар минтақаи фурӯравие, ки соли 1991 дар ПК 7+70-8+41 (байни тарқишҳои №35 ва №111) дар нақби сохтмони НС-1 рух додааст, аз рӯи мақтаи сейсмикӣ ва шуоъдиҳии сейсмикӣ массаи чинсҳои шахӣ бо қиматҳои $V_p = 4500$ м/с дар борфарории ғаёл, - $V_p=2500-3100$ м/с, дар минтақаи борфарории заиф – $V_p=3300-4100$ м/с хос аст. Дар ин ҷо ғафсии минтақаи борфарорӣ то 8 метр зиёд мешавад. Дар мавзеи вайроншавии нақбҳои сохтмони НС-2, ки соли 1993 дар девори рост дар ПК 4+25-5+00 рух додааст, дар асоси натиҷаҳои мақтаъсозии сейсмикӣ, қиматҳои $V_p = 4500-4700$ м/с барои массиви нисбатан вайроннашуда, $V_p = 2800$ м/с барои минтақаи борфарории ғаёл, $V_p=3600-3800$ м/с барои минтақаи борфарории заиф ба даст оварда шуд. Дар девори муқобил, дар минтақаи фурӯравии пешбинишуда аз девораи чапи НС-2, ин қиматҳо барои массиви нисбатан вайроннашуда 4500 м/с, барои минтақаи борфарории ғаёл 2800 м/с ва барои минтақаи борфарории заиф 3300-3500 м/с буд, ки нисбат ба тадбирҳои андешидашудаи соли 2009 хело зиёд буд, ки ин ба гузаронидани ҷорабиниҳо оид ба устувории массив дар ин китъаи мазкур шаҳодат меод.

2. Муайян карда шуд, ки регсангҳои свитаи Қизилтош K_{1kz} , алевролитҳои свитаи Обигарми поён K_{1ob} , регсангҳои свитаи Обигарми боло K_{1ob2} ва регсангҳои свитаи Қаракӯз бо қиматҳои миёнаи суръати мавҷи тулонӣ дар минтақаи борфарории ғаёл аз 2500 то 3200 м/с, дар минтақаи борфарории заиф аз 3300 то 4800 м/с ва зиёда аз 4800 м/с дар минтақаи чинсҳои вайроннашуда хос аст. Ғафсии минтақаи борфарории ғаёл ба ҳисоби миёна, барои ҳамаи чинсҳои дар боло зикршуда 1-4 метр ва дар минтақаи борфарории заиф 4-8 метрро ташкил медиҳад.

Адабиёт

1. *Давлатшоев С.К., Сафаров М.М., Давлатзода З.Х., Хайриддинов Г.К.* Современное состояние скального массива на участке строительных туннелей СТ – 1 и СТ – 2 Рогунской ГЭС // Материалы десятой Международной теплофизической школы «Теплофизические исследования и измерения при контроле

качества веществ, материалов и изделий». – Душанбе, ООО «Хочи-Хасан», 2016. С. 389-397.

2. *Давлатшоев С.К., Тоирзода С.Т., Чакалов С.Х.* Изучение состояния скального массива строительных туннелей СТ – 1 и СТ – 2 Рогунской ГЭС после длительной эксплуатации. Материалы межд. н-пр. конф. «XIII Ломоносовские чтения» посвящённой 115-летию ак. Бободжона Гафуроа. Часть III. Естественные науки. – Душанбе, 2023. –С. 232-237.
3. *Давлатшоев С.К.* Оценка качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников в условиях растягивающих напряжений. Гидротехническое строительство, №12, 2021. –С. 15-20.
4. *Давлатшоев С.К.* Влияние объёмного нагружения скальных пород подземного помещения на процесс релаксации самонапряжённого состояния алевролитового массива. Гидротехническое строительство, №1, 2022. –С. 6-12.
5. *Davlatshoev S. K.* Evaluation of the quality of strengthening cementation of an enclosing sandstone massif under tensile stresses. Power Technology and Engineering, vol. 56, No. 1, May, 2022. Pp. 46-51. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01469-10>.
6. *Davlatshoev S. K.* Influence of volumetric loading of rocks surrounding underground chambers on the relaxation of self-stressed aleurolite massif. Power Technology and Engineering, vol. 56, No. 2, July, 2022. Pp. 157-163. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01488-x>.
7. *Давлатшоев С.К.* Контроль качества цементационных работ вмещающего массива в опытном участке методом сейсмического каротажа. Гидротехническое строительства, №2, 2020., -С. 52 - 56.
8. *Давлатшоев С.К.* Исследование качества цементационных работ вмещающего массива подземных сооружений ультразвуковым методом. Гидротехническое строительства, №4, 2020. -С. 2 - 7.
9. *Davlatshoev S. K.* Quality control of cementation operation performed in country massif in a test section by seismic well logging. Power Technology and Engineering, vol. 54, No. 2, July, 2020. Pp. 199-203. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01191-1>.
10. *Davlatshoev S. K.* Ultrasound study of the quality of consolidation grouting works retaining rocks in underground structures logging. Power Technology and Engineering, vol. 54, No. 3, September, 2020. Pp. 332-336. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01211-0>.

11. Рузиев З.У. Оценка состояний подземных сооружений гидротехнического тоннеля Нурек-Дангара. Магистрская дисс. – Душанбе, ТТУ, 2019. -76с.
12. Технический отчет «Оказание инжиниринговых и консультационных услуг по обследованию строительных туннелей первого и второго яруса (СТ-1 и СТ-2) Рогунской ГЭС». М.: ЦСГНЭО, 2013. -61 с.

ТАҲҚИҚИ ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ МЕХАНИКИИ МАССИВҲОИ САНГИИ НАҚБҲОИ ГИДРОТЕХНИКӢ ПАС АЗ РЕЧАИ ТӢЛОНӢИ ИСТИФОДАБАРӢ

Фишурда. Шароити кӯҳӣ-геологии баистифодадиҳии нақбҳои сохтмони соҳили чапи №1 ва 2 асосан бо хусусиятҳои сохти геологии массивҳои чинсҳои атроф муайян карда мешавад. Бо мақсади ба даст овардани маълумоти зарурӣ дар бораи ҳолати массиви ҷойгиршудаи нақбҳои сохтмонӣ пас аз речаи истифодаи тӯлонӣ, бо ёрии маҷмуи усулҳои геофизикӣ оид ба хусусиятҳои чандирӣ ва шаклдигаркунии массивҳо таҳқиқот гузаронида шуд. Дар мақола коркарди маводи тадқиқоти геофизикӣ, ки имкон медиҳанд хусусиятҳои чандирӣ ва шаклдигаркунии хосиятҳои массиви нигоҳдошташуда, минтақаҳои борфарорӣ ва минтақаҳои шикасти тектоникии элементҳои гуногуни муҳандисию геологиро муайян мекунанд, баррасӣ гардидааст.

Калидвожаҳо: нақбҳои сохтмонӣ, массив, геофизика, борфарорӣ, мақтаъсозии сеймикӣ, каротажи ултрасадоӣ, радиография, регсанг, алевролит.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКАЛЬНОГО МАССИВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. Инженерно-геологические условия эксплуатации левобережных строительных туннелей СТ-1 и СТ-2 во многом определяются особенностями геологического строения вмещающего горного массива. С целью, получения необходимой информации о состоянии вмещающего массива строительных туннелей после длительной эксплуатации работавшие в щадящем режиме были проведены работы по определению упругих и деформационных характеристик массива комплексом геофизических методов. В статье рассматривается обработка материалов геофизических исследований позволяющие определять упругие и деформационные характеристики свойств сохранный массива, зон

разгрузки и зон тектонических нарушений для различных инженерно-геологических элементов.

Ключевые слова: строительные туннели, массив, геофизика, разгрузка, сейсмическое профилирование, ультразвуковой каротаж, просвечивание, песчаник, алевролит.

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ROCK MASSIF OF HYDRAULIC TUNNELS AFTER LONG-TERM OPERATION

Annotation. The engineering and geological conditions for the operation of the left-bank construction tunnels CT-1 and CT-2 are largely determined by the features of the geological structure of the enclosing mountain range. In order to obtain the necessary information about the state of the enclosing array of construction tunnels after long-term operation, which worked in a gentle mode, work was carried out to determine the elastic and deformation characteristics of the array using a set of geophysical methods. The article discusses the processing of geophysical research materials, which makes it possible to determine the elastic and deformation characteristics of the properties of a preserved massif, unloading zones and zones of tectonic disturbances for various engineering and geological elements.

Keywords: construction tunnels, massif, geophysics, unloading, seismic profiling, ultrasonic logging, transillumination, sandstone, siltstone.

Маълумот дар бораи муаллиф:

Тоирзода Сухроб Тоир – Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, докторанти PhD. **Суроға:** 734065, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кучаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 905-77-33-10. **E-mail:** avliyoqulov97@mail.ru.

Сведения об авторах:

Тоирзода Сухроб Тоир – Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, докторант PhD. **Адрес:** 734065, Республика Таджикистан, р. Данғара, ул. Маркази, д. 25. **Телефон:** (+992) 905-77-33-10. **E-mail:** avliyoqulov97@mail.ru.

Information about the author:

Toirzoda Suhrob Toir – Institute of water problems, hydropower and ecology, doctoral student or PhD. **Address:** 734065, Republic of Tajikistan, r. Dangara, st. Markazi, 25. **Phone:** (+992) 905-77-33-10. **E-mail:** avliyoqulov97@mail.ru.

Муқарриз: Бобохонов Ф.Ш. – н.и.т.,
Донишгоҳи давлатии Данғара

**АМСИЛАСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ “ОМУЗИШИ ҲАРАКАТИ
СОБИТШИТОБ”**

Шарифова В. З., Умаров А. Н.
Донишгоҳи давлатии Данғара

Бояд қайд намуд, ки асри **XXI** асри ҷомеаи иттилоотӣ маҳсуб мешавад ва истифодаи технологияҳои компютерӣ ногузир мебошад. Ҷамаи он чизҳое, ки дар олами моддӣ моро илота менамояд ё ба онҳо мо дучор мешавем, ба ҷисмҳо ва майдонҳои физики таълуқ доранд. Аз физика маълум аст, ки ҳолати оромии мутлақ вучуд надорад ва объектҳои физикӣ дар ҳолати ҳаракати қатънашаванда ва тағйирёбии мебошанд, инчунин онҳоро табодули энергия вагузариш аз як ҳолат ба ҳолати дигар ҳамроҳ мекунад. Ҷамаи намуди табодули энергияро пайдоиши сигналҳо ҳамроҳи мекунад. яъне сигналҳо асоси табодули энергия дар модаҳо мебошанд. ҳангоми таъсири мутақобилаи сигналҳо ба ҷисмҳои физикӣ тағйирёбии муайяни хосиятҳо ба амал меояд, ки онро ҳодисаи бақайдгирии сигналҳо меноманд. Чунин тағйирёбиоро бо роҳҳои гуногун муайян мекунанд. Дар ин ҳолат сигналҳои нав пайдо мешаванд, ки онҳо ба қайд гирифта мешаванд ва онҳоро дар технологияҳои информатсионӣ додаҳо меноманд.

Таҷрибаи замони муосир нишон медиҳад, ки технологияҳои компютерӣ дар ҳаёти инсон аҳамияти авалиндарачаро доранд. Давлатҳои пешрафтаи олам ба ин бахш аҳамияти авалиндарача дода, натиҷаҳои бузургро ноил шудаанд. Дар замони соҳибистиклолии Тоҷикистони азизамон талошҳои назаррасе дар инкишофи ин соҳа мушоҳида мешавад. Бо ташабуси Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон Эмомалӣ Раҳмон омӯзиши технологияҳои компютерӣ чи дар мактабҳои олии ва чи дар мактабҳои миёнаи махсусу миёнаи таҳсилоти умумӣ дуруст ба роҳ монда шудааст.

Тараққиёти ин соҳа таъсири худро ба тамоми ҳаёти ҷомеа расонидааст. Технологияҳои компютерӣ бо суръати назаррас пеш меравад ва барномаҳои навини системаи информатсионӣ ҷабҳаҳои гуногуни ҷомеа ро фаро мегирад.

Мақолаи мазкур ба мо имкон медиҳад, ки дар бораи ҷӣ будани моделронии компютерӣ, озмоишҳои виртуалӣ, тартиби иҷрои корҳои озмоишӣ, усулҳои кор бо моделҳои виртуалӣ, маълумотҳоро баррасӣ намоем. Истифодаи моделронии компютерӣ имкон медиҳад, ки корҳои

озмоишии виртуалиро дар дарсҳои физика дар мактабҳои таҳсилоти миёнаи умумӣ ва донишгоҳҳои олӣ баррасӣ менамояд.

Иҷрои босифат ва бомуваффақияти натиҷаҳои кори озмоишӣ аз ҷониби донишҷӯён бидуни омодагии пешакӣ ба дарсҳои озмоишӣ ғайриимкон аст.

Озмоишгоҳи компютерии виртуалӣ дорои маводу дастурҳо оид ба иҷрои кор мебошад, ки дар шакли якхела сохторбандӣ шудааст, мисол: мақсади кор, маводи назариявӣ, насби таҷрибавӣ, тартиби кор, ҳисобот. Илова бар ин, ҳар як кори озмоишӣ санҷишро дар бар мегирад, ки баҳодиҳии донишҳои асосиро барои бомуваффақият анҷом додани кори зарурӣ ва санҷиши ниҳой, ки ба мониторинги донишҳои боқимонда аз натиҷаи кори озмоишӣ нигаронида шудааст, дар бар мегирад. Воситаҳои махсуси мултимедиявӣ, ки ҳадафи асосии онҳо баланд бардоштани самаранокии омӯзиш мебошад, таваҷҷӯҳи бештар доранд[6].

Дарсҳои физика дар шакли онлайн барои донишҷӯёни ботаҷриба ва кунҷков, ки меҳонд физикаро бо усулҳои амалӣ омӯзанд, кӯмаки хубе мерасонад.

Барои мисол кори озмоишии виртуалиро дар мисоли “Амсиласозии компютери “Омӯзиши ҳаракати собитшито”” дида мебароем. Рафти иҷрои кори озмоишии виртуалӣ ба мо имконият медиҳад, ки назарияи кори озмоиширо азхуд намоем.

Суръатро дар ҳар гуна фосилаи вақт $v = v(t)$ дониста, роҳи тайкардаи нуқтаи материалро аз муддати вақти t_1 то муддати вақти t_2 ёфтан мумкин аст. Фосилаи вақти t -ро ба N фосилаҳои хурди вақт Δt_i тақсим мекунем, ки ин ҷо $1, 2, 3, \dots, N$ рақами фосилаҳо мебошад.

Мувофиқи муодилаи суръати лаҳзагӣ $v = dS / dt$, роҳи тайкардаи нуқтаи материалӣ S_i , дар лаҳзаи вақти t_i , баробар аст ба

$$\Delta S_i = v \Delta t_i,$$

ки ин ҷо v_i қимати суръати нуқтаи материалӣ мувофиқ ба фосилаи вақти Δt_i мебошад. Роҳи пурра S , тайкардаи нуқтаи материалӣ ба суммаи буришҳои алоҳидаи роҳ Δs_i баробар аст;

$$S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_N = \sum_{i=1}^N \Delta S_i$$

ё ин, ки

$$S = \sum_{i=1}^N v_i \Delta t_i.$$

Агар фосилаи вақтро кам кунем Δt_i , он гоҳ ҳосили зарби v_i , Δt_i , бо зиёдшавии, роҳи тайкардари ΔS_i —ро ҳангоми $\Delta t_i \rightarrow 0$ ифода карда дар ин ҳолат қимати асосии роҳ чунин шаклро мегирад:

$$S = \lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N v_i \Delta t_i.$$

Дар математика намуди муодилаи додашуда муайянкунандаи функсияи интегралӣ $\vartheta = \vartheta(t)$ номида шуда, аз тағйирёбандаи вақт t аз t_1 (ҳади поёнӣ) то t_2 (ҳади болоӣ), гирифта шудааст,

$$S = \int_{t_2}^{t_1} \vartheta dt.$$

Муодилаи суръатро $\vartheta = \vartheta_0 + \alpha t$ бо муодилаи роҳ $dS = \vartheta dt$, истифода бурда ҳосил мекунем

$$\int_{S_0}^S dS = \int_{t_0}^t \vartheta dt = \int_0^t (\vartheta_0 + \alpha t) dt.$$

Баъди интегронӣ роҳро дар намуди зерин меёбем

$$S = S_0 + \vartheta_0 t + \alpha t^2 / 2, \quad (2.29)$$

ин ҷо S_0 — роҳи тайкардаи нуқтаи материалӣ дар лаҳзаи вақти $t = 0$.

Муодилаи вектори кӯчишро чунин ифода мекунем:

$$\Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}_0 = \vec{\vartheta}_0 t = \vec{\alpha} t^2 / 2. \quad (2.30)$$

Ин муодилаи векториро метавонем ба се системаи муодилаҳои скалярӣ барои тағйирёбии координатаҳои x , y , z дар лаҳзаи вақт, ҳангоми ҳаракати нуқтаи материалӣ ифода намоем

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \vartheta_{0x} t + \alpha_x t^2 / 2, \\ y &= y_0 + \vartheta_{0y} t + \alpha_y t^2 / 2, \\ z &= z_0 + \vartheta_{0z} t + \alpha_z t^2 / 2. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Аз муодилаи (2.31) муодилаеро ҳосил кардан мумкин аст, ки тағйирёбии радиус векторро ифода мекунад ва ҳаракати нуқтаи материалро вобаста ба вақт дар шакли зерин тавсиф медиҳад

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{\vartheta}_0 t + \vec{\alpha} t^2 / 2. \quad (2.32)$$

Мисоли ҳаракати собитшитоб, афтиши ҷисм дар майдони қувваҳои ҷозиба ё ҳаракати ҷисм аз рӯи ҳамвории моил бе таъсири қуваҳои соиш буда метавонад. Қой доштани шартҳои аввала x_0 , ϑ_0 , r_0 ва ғайраҳо аз табиати ҷоришавии вақт танҳо ба як самт аз гузашта ба оянда сурат мегирад. Лаҳзаи аввали вақт $t_0 = 0$ набояд саршавии ҳаракати нуқтаи материалӣ ва ҳолати оромии онро мувофиқ кунад. Шартҳои аввала ихтиёрӣ гирифта мешавад. Ин лаҳзаи вақте мебошад, ки бо он мушоҳид ҳаракати нуқтаи материалро назорат мекунад ё таҷриба мебарад. Аслан дар ин ҳолатҳо сониясанҷ барои чен кардани фосилаи вақт истифода мешавад.



Расми 1. Равзанаи кори озмоишии “Омӯзиши ҳаракати собитшитоб”

Ҳаракати собитшитоб ҳаракатест, ки дар он суръати ҷисм дар лаҳзаҳои баробари вақт бо бузургиҳои баробар тағйир меёбад.

Намунаи ҳаракати собитшитоб: афтиши озоди ҷисмҳо мебошад.

Шитоби ҷисм дар ҳаракати собитшитоб бузургист, ки ба вобастагии таносуби тағйирёбии суръат дар фосилаи вақт баробар аст, ки дар рафти он ин тағйирот ба амал меояд.

Бо ҳарфи α ишора карда мешавад.

Воҳиди ченкуниаш дар СИ, м/с^2 мебошад.

Қонуни тағйирёбии координатаи ҷисм дар ҳаракати собитшитоб бо муодилаи зерин ифода карда мешавад

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{\alpha t^2}{2}$$

α - шитоби ҷисм

v_0 - суръати ибтидоӣ

x_0 - координатаи ибтидоӣ

Агар суръати ибтидоӣ баробари сифр бошад, он гоҳ $\alpha = \frac{2x}{t^2}$ мешавад, ки дар ин ҷо x - роҳи тайкарда мебошад .

Далели он, ки афтиши озоди ҷисмҳо ҳаракати собитшитоб мебошад, бори аввал аз ҷониби Галилей (1564-1642) муқаррар карда шудааст. Галилео суръати ғелиши ҷисмҳоро (сақоҳи мармариро) аз руи ҳамвории

моил чен кард. Аз сабаби он ки дар он вақт асбоби дақиқ мавҷуд набуд У вақти афтиши ҷисмҳоро аз баландиҳои гуногун аз руи набзи (пулси) худ чен кард. Ҳаракати сақоҳои мрамрӣ воқеан собитшитоб буда аз массаи онҳо вобаста набуд. У аз натиҷаҳои бадастомада ба хулосае омад, ки баъзе таҳминҳои алоқаманд ба физикаи Аристотел нодурустанд. Ин ҳолат пешрафти (инкишофи) физикаи классиқиро тезонид.

Тартиби таҳқиқи саволҳоро пешниҳод кунед: оё ҳаракати сақо дар қад-қад нова собитшитоб аст. Дар таҷрибаи виртуалӣ танҳо асбобҳои дар шакли электрони ба барнома воридкардашуда истифода бурда мешаванд, ки дар равшанаи қори озмоишии виртуалӣ расми 2 оварда шудааст.

Асбобу анҷом,: Новае, ки як метр дарозӣ дорад ва қунҷи онро танҳо тавассути тағйир додани баландии васл дар штатив тағйир додан мумкин аст, маҷмӯи сақоҳои андозаҳои гуногундошта сониясанӣ.

Дарозии роҳи ҳаракатро тағйир дода сақоро якҷанд маротиба аз болои ҷамвории моил сар диҳед. Вақти ҳаракатро чен карда шитобро дар ҳар як ҳолат муайян кунед. Сипас қиматҳои шитобро муқоиса кунед. Қиматҳои шитоб бояд якхела бошанд.

Варианти худро бо варианти пешниҳодшуда муқоиса кунед:

Дарозии роҳро тағйир дода сақоро якҷанд маротиба аз болои ҷамвории моил бе суръати ибтидоӣ сар медиҳем. Вақти ҳаракатро дар ҳар як ҳолат чен мекунем ва бо истифода аз муодилаи $a = \frac{2x}{t^2}$ шитоби сақоро ҳисоб мекунем.

Ҳангоми собитшитоб будани ҳаракат, шитоб набояд аз дарозии роҳи тайкардаи сақо вобаста бошад.

1. Новаро дар штатив дар баландии $h=10$ см васл мекунем.

2. Стопперро (истгоҳро) дар масофаи $x=10$ см мегузорем. Сақоро дар нова ба боло бароварда, вақти ҳаракати он t - ро чен мекунем.

3. Шитоби сақоро бо муодилаи ҳаракати собитшитоб $a = \frac{2x}{t^2}$ ҳисоб мекунем.

4. Қойи стопперро (истгоҳро) иваз намуда, вақти ҳаракати сақоро чен мекунем.

5. Ченкуниро барои ҳолатҳои гуногуни қойгиршавии стоппер(истгоҳ) идома медиҳем, ченкуниро якҷанд маротиба такрор мекунем. Натиҷаҳои ҳосилшударо ба ҷадвали 1 ворид мекунем.

Дар равшанаи қори озмоишии виртуалӣ натиҷаҳои бадастомада тариқи худкор ба ҷадвал дохил карда мешавад, ки дар равшанаи қори озмоишӣ расми 2 нишон дода шудааст. Шитоби қисм дар ҳаракати

собиштиб тавассути муодилаи шитоби қисм дар ҳаракати собитштиб ҳисоб карда мешавад.

$$\alpha = \frac{2x}{t^2}$$

6. Нишебии новаро иваз кунед ва таҷрибаро такрор мекунем.



Расми 2. Равзанаи кори озмоишии “Омузишии ҳаракати собитштиб”

Ҷадвали 1.

h,м	x,м	t,с	α,м/с²
0.1	0.1	1.1	0.165
	0.3	2	0.15
	0.5	2.6	0.148

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.1}{1.1^2} = \frac{0.2}{1.21} = 0.165$$

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.3}{2^2} = \frac{0.6}{4} = 0.15$$

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.5}{2.6^2} = \frac{1}{6.76} = 0.148$$

Бо иваз намудани нишебии нова дар равзанаи кори озмоишӣ, ки дар расми 3 оварда шудааст барои шитоб қиматҳои дигарро ҳисил мекунем. Натиҷаи ҳисобкунишро да ҷадвали 2 оварда шудааст. Шитоби қисм дар

ҳаракати собитшитоб тавассути муодилаи шитоби чисм дар ҳаракати собитшитоб ҳисоб карда мешавад.

$$\alpha = \frac{2x}{t^2}$$



Расми 3. Равзанаи кори озмоишии “Омузиши ҳаракати собитшитоб”

Ҷадвали 2.

h,м	x,м	t,с	α,м/с ²
0.2	0.1	0.8	0.313
	0.3	1.4	0.306
	0.5	1.8	0.309

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.1}{0.8^2} = \frac{0.2}{0.64} = 0.313$$

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.3}{1.4^2} = \frac{0.6}{1.96} = 0.306$$

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.5}{1.8^2} = \frac{1}{3.24} = 0.309$$

Супориши 2: Новаро дар штатив дар баландии h= 10см маҳкам мекунем.

Стопорро (истгоҳро) дар масофаи 90см ҷойгир мекунем.

Сақоро сар дода вақти ҳаракати онро чен мекунем.

Таҷрибаро барои сақоҳои андозаашон гуногун такрор мекунем.

Натиҷаҳои ҳосилшударо дар ҷадвали 3 ҷойгир мекунем. Шитоби сақоро тавассути муодилаи ҳаракати собитшитоб муайян мекунем.

Шитоби ҷисм дар ҳаракати собитшитоб тавассути муодилаи шитоби ҷисм дар ҳаракати собитшитоб ҳисоб карда мешавад.

$$\alpha = \frac{2x}{t^2}$$

Ҷадвали 3.

№	h, м	x, м	t, с	α , м/с ²
1.	0.1	0.9	3.5	0.15
2.			3.5	0.15
3.			3.5	0.15
4.			3.5	0.15

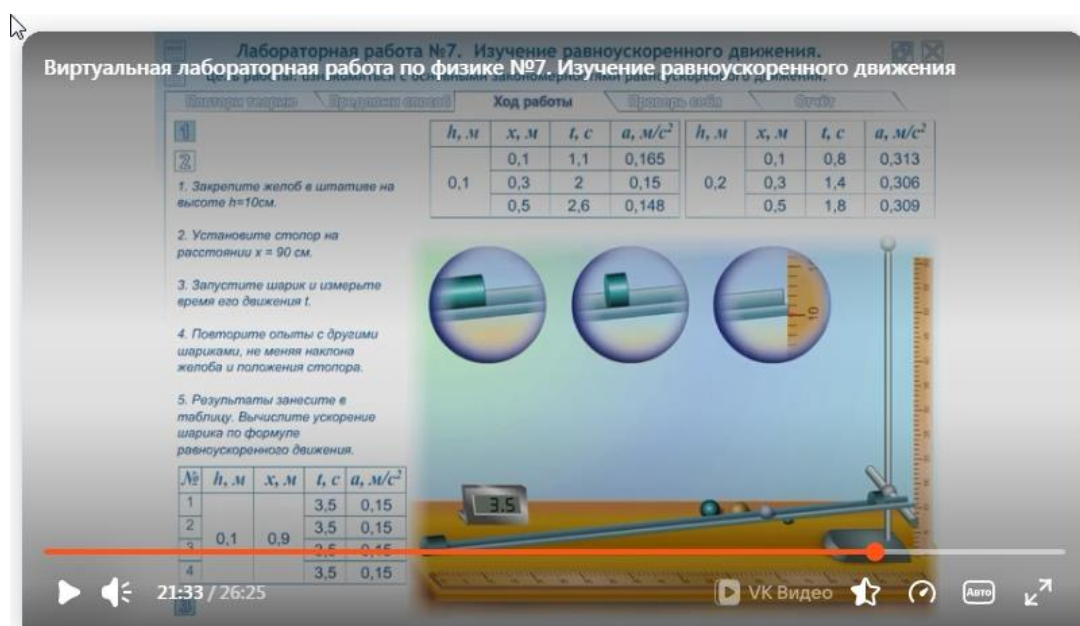
Таҷриба нишон медиҳад, ки шитоб дар ҳаракати собитшитоб барои сақоҳои андозаҳои гуногун, ки аз баландии 0.1 м масофаи 0.9 м-ро дар мудати вақти 3.5 с тай мекунад, яхела аст.

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.9}{3.5^2} = \frac{1.8}{12.25} = 0.15 \text{ м/с}^2$$

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.9}{3.5^2} = \frac{1.8}{12.25} = 0.15 \text{ м/с}^2$$

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.9}{3.5^2} = \frac{1.8}{12.25} = 0.15 \text{ м/с}^2$$

$$\alpha = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.9}{3.5^2} = \frac{1.8}{12.25} = 0.15 \text{ м/с}^2$$



Расми 4. Равзанаи кори озмоишии “Омузиши ҳаракати собитшитоб”

Қиматҳои шитобро, ки дар давоми таҷриба ҳосил шудааст муқоиса намуда, ҳулоса мебарорем.

Таҷриба нишон медиҳад, ки сақо собитшитоб ҳаракат мекунад. Бо зиёд шудани кунҷи моили нова шитоби сақо меафзояд. Шитоби сақо аз масса ва андозаи тӯб вобаста нест.

Варианти худро бо варианти пешниҳодшуда муқоиса кунед:

Шитоби сақо қад-қади ҷамвории моил суръат мегирад. Шитоб аз масса ва андозаи сақо вобаста нест. Баробари зиёд шудани кунҷи ҷамвории моил суръатнокӣ меафзояд.

Шитоби сақо чӣ гуна ва чанд маротиба тағйир меёбад, агар синуси кунҷи ҷамвории моил

а) ду баробар зиёд мешавад, б) се маротиба кам мешавад?

а) тағйир намеёбад

1. 2 маротиба зиёд мешавад

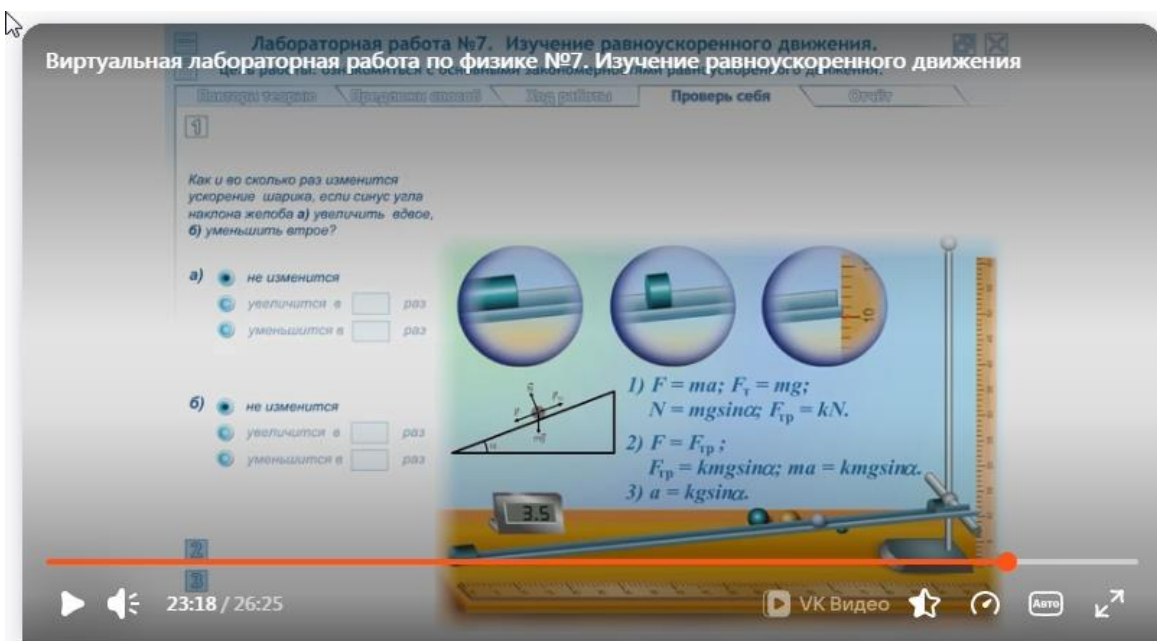
2. - маротиба кам мешавад

б) тағйир намеёбад

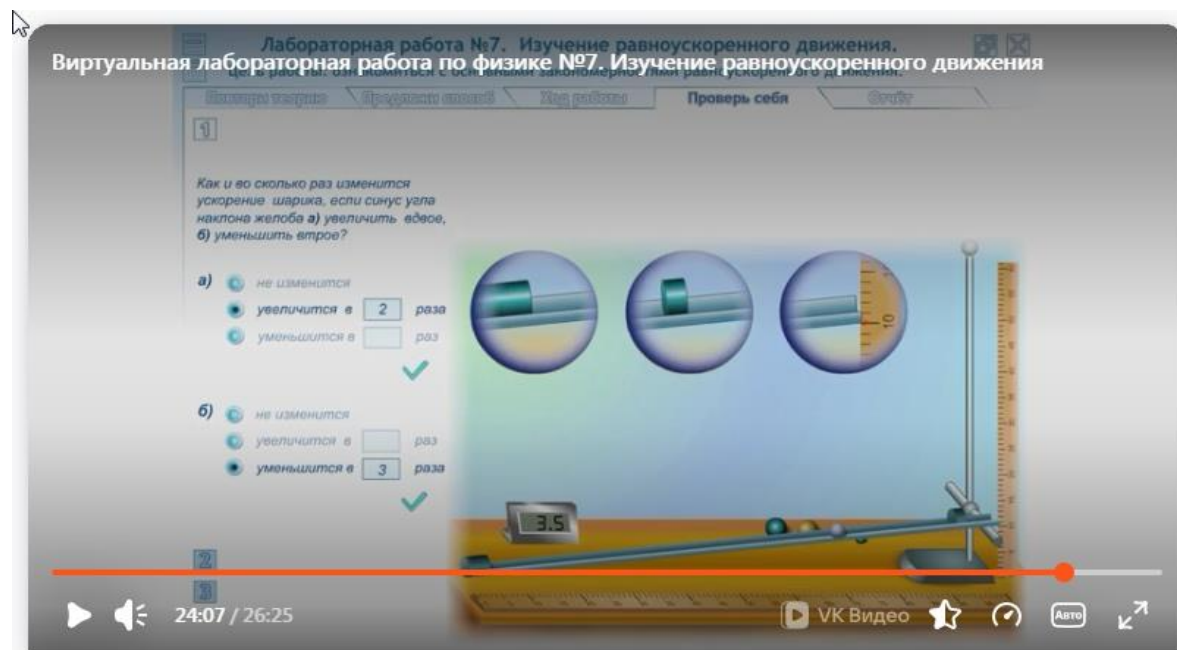
1. - баробар зиёд мешавад

Ҳолатҳои мазкур дар равшанӣ кори озмоишии виртуалӣ, расми 5 ва расми 6 нишон дода шудааст.

2. 3 маротиба кам мешавад



Расми 5. Равзанаи кори озмоишии “Омузишии ҳаракати собитшитоб”



Расми 6. Равзанаи кори озмоишии “Омузишии ҳаракати собитишитоб”

Кунҷи нишебии нова ба 6^0 баробар аст. Агар ин кунҷро 2 маротиба кам кунем, шитоб чанд маротиба тағйир меёбад?

Ҷавоб: 2 маротиба.

Тағйирёбии хурди кунҷи майлқунии нова ба тағйирёбии синуси кунҷ мутаносиб аст, яъне шитоб низ мутаносибан тағйир меёбад.

Дар кунҷҳои хело хур тағйирёбии синуси кунҷ ба бузургии кунҷ мутаносиб мебошад, бинобар ин, дар ин ҳолат шитоб мутаносибан ба кунҷи майлқунӣ кам мешавад.

Кунҷи ҷамвории моил ба 5^0 баробар аст. Агар ин кунҷро 9 маротиба кам кунем, шитоб чанд маротиба тағйир меёбад?

Ҷавоб: 8,1 маротиба.

Дар ин ҳолат шитоб мувофиқи синуси кунҷи майлқунӣ зиёд шуда, баробари зиёд шудани кунҷи майлқунӣ ба бузургии кунҷ мутаносиб намешавад. Ҳамин тариқ, шитоб на ба андозаи 9 маротиба, балки ба андозаи камтар афзоиш меёбад.

Адабиёт

1. Тошбой Бобоев. Асосҳои физикии механика. Душанбе, 2012.-143 саҳ.
2. Сайдуллоева М. Механика, физикаи молекулярӣ ва термодинамика. - Душанбе: Матбааи ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, 2013. - 324 с.

3. Саъдуллозода Ҳ., Холов М., Ҳоҷихонов И. Механика, физикаи молекулавӣ ва асосҳои термодинамика (Баёноти мухтасар). -Душанбе: Амри илм, 2000.-174 с.
4. Қодирӣ С. Луғати русӣ-тоҷикӣ истилоҳоти физика. -Душанбе: Маориф, 1985. -464 с.
5. Пирмаҳмад Нуров. Фарҳанги мухтасари русӣ ба тоҷикӣ истилоҳоти илмҳои дақиқ ва техникӣ. - Душанбе, 2013. -619 с.
6. Дозоров В. А., Дозоров Е. В. Виртуальный лабораторный практикум как одна из эффективных форм урока в инновационной школе: сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Организация до вузовской подготовки в условиях проведения Единого государственного экзамена». - Омск - 2012.- С. 27–31.
7. Кечиев, Л. Н., Алешин, А. В. Дистанционное обучение в сети Интернет // Внешкольник. -2001.- № 11. - С. 19–21.
8. Матлин, А. О., Фоменков, С. А. Методика построения виртуальной лабораторной работы с помощью автоматизированной системы создания интерактивных тренажеров // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2012 - № 12 – С - 142–144.
9. Савельев И. В. Курс общей физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика. -Издательство: Лань, 2007. - 432 с.

АМСИЛАСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ “ОМЌЗИШИ ҲАРАКАТИ СОБИТШИТОБ”

Ғишурда. Таҷрибаи замони муосир нишон медиҳад, ки технологияҳои компютерӣ дар ҳаёти инсон аҳамияти аввалиндараҷаро доранд. Давлатҳои пешрафтаи олам ба ин бахш аҳамияти аввалиндараҷа дода, натиҷаҳои бузургро ноил шудаанд. Тараққиёти ин соҳа таъсири худро ба тамоми ҳаёти ҷомеа расонидааст.

Технологияҳои компютерӣ бо суръати назаррас пеш меравад ва барномаҳои навини системаи информатсионӣ ҷабҳаҳои гуногуни ҷомеаро фаро мегирад.

Мақолаи мазкур ба мо имкон медиҳад, ки дар бораи чӣ будани моделронии компютерӣ, озмоишгоҳи виртуалӣ, тартиби иҷрои корҳои озмоишӣ, усулҳои кор бо моделҳои виртуалӣ, маълумотхоро баррасӣ намоем. Истифодаи моделронии компютерӣ имкон медиҳад, ки корҳои озмоишӣ виртуалиро дар дарсҳои физика дар мактабҳои таҳсилоти миёнаи умумӣ ва донишгоҳҳои олии баррасӣ менамоем.

Озмоишгоҳи компютерии виртуалӣ дорои маводу дастурҳо оид ба иҷрои кор мебошад, ки дар шакли якхела сохторбандӣ шудааст, мисол: мақсади кор, маводи назариявӣ, насби таҷрибавӣ, тартиби кор, ҳисобот. Илова бар ин, ҳар як

кори озмоишӣ санҷишро дар бар мегирад, ки баҳодиҳии донишҳои асосиро барои бомуваффақият анҷом додани кори зарурӣ ва санҷиши ниҳой, ки ба мониторинги донишҳои боқимонда аз натиҷаи кори озмоишӣ нигаронида шудааст, дар бар мегирад.

Калидвожаҳо: компютер, механика, саққо, ҳамвории моил, ҳаракати собитшитоб, шитоб, озмоишгоҳи виртуалӣ, штатив, дарозии роҳ, барнома ва ғайра.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ «ИЗУЧЕНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ»

Аннотация. Современный опыт показывает, что компьютерные технологии имеют первостепенное значение в жизни человека. Развитые страны мира отдали приоритет этому сектору и добились больших результатов. Развитие этого сектора оказало влияние на всю жизнь общества.

Компьютерные технологии развиваются стремительными темпами, и новые приложения информационных систем проникают в различные сферы жизни общества.

В данной статье рассматривается информация о том, что такое компьютерное моделирование, виртуальная лаборатория, порядок проведения экспериментальных работ, методы работы с виртуальными моделями. Использование компьютерного моделирования позволяет проводить виртуальную экспериментальную работу на уроках физики в средних школах и вузах.

Виртуальная компьютерная лаборатория содержит материалы и инструкции по выполнению работ, которые структурированы единообразно, например: цель работы, теоретический материал, экспериментальная установка, порядок работы и отчет. Кроме того, каждое пилотное задание включает в себя тест, который оценивает базовые знания, необходимые для успешного выполнения задания, и итоговый тест, который фокусируется на мониторинге оставшихся знаний по пилотному заданию.

Ключевые слова: компьютер, механика, маятник, наклонная плоскость, постоянное ускоренное движение, ускорение, виртуальная лаборатория, штатив, длина пути, программа и т. д.

COMPUTER SIMULATION "STUDY OF UNIFORMLY ACCELERATED MOTION"

Annotation. Modern experience shows that computer technologies are of primary importance in human life. Developed countries of the world have given priority to this sector and have achieved great results. The development of this sector has influenced the entire life of society.

Computer technologies are developing rapidly, and new applications of information systems are penetrating into various spheres of society.

This article discusses information about what computer modeling is, a virtual laboratory, the procedure for conducting experimental work, and methods of working with virtual models. The use of computer modeling allows for virtual experimental work in physics lessons in secondary schools and universities.

A virtual computer laboratory contains materials and instructions for performing work that are structured uniformly, for example: the purpose of the work, theoretical material, experimental setup, work procedure, and report. In addition, each pilot assignment includes a test that assesses the basic knowledge required to successfully complete the assignment and a final test that focuses on monitoring the remaining knowledge of the pilot assignment.

Keywords: computer, mechanics, pendulum, inclined plane, constant accelerated motion, acceleration, virtual laboratory, tripod, path length, program, etc.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Шарифова Валоят Зайниддиновна – Донишгоҳи давлатии Данғара, ассистенти кафедраи информатика ва телекоммуникатсия. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кўчаи Маркази 25. **Телефон:** +992-988-29-50-53. **E-mail:** svaloat@gmail.com.

Умаров Анварҷон Нуралиевич – Донишгоҳи давлатии Данғара, номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кўчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Сведения об авторах:

Шарифова Валоят Зайниддиновна – Дангаринский государственный университет, ассистент кафедры информатики и телекоммуникации. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, р. Дангара, ул. Маркази 25. **Телефон:** +992-988-29-50-53 **E-mail:** svaloat@gmail.com.

Умаров Анвардҷон Нуралиевич - Дангаринский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, р. Дангара, ул. Маркази, 25. **Телефон:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Information about the authors:

Sharifova Valoyat Zainiddinovna – Dangara State University, Associate Professor of the Department of Informatics and Telecommunications. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, Dangara district, Markazi str., 25. **Phone:** +992-988-29-50-53 **Email:** svaloat@gmail.com.

Umarov Anvarjon Nuralievich - Dangara State University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, Dangara district, Markazi str., 25. **Phone:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Муқарриз: Набиев Ҷ.Ғ. – н.и.п., Донишгоҳи давлатии Данғара

ТДУ: 53:004.94(076.5)

**МОДЕЛИ КОМПЮТЕРИИ ҲОДИСАИ ПАҲНШАВИИ МАВҶҲОИ
САДО (озмоишгоҳи виртуалӣ)**

Умаров А.Н., Олимӣ А.Р., Азимов С., Исозода А.З.

Донишгоҳи давлатии Данғара

Инсоният дар давраи фаъолияти худ як зумра инқилобҳои илмиву техникиро паси сар кардааст, ки ҳар кадоме дар пешрафт ва камолот нақши муҳим боқӣ гузоштааст.

Воқеан асри XXI, ки он асри технологияҳои информатсионӣ ва информатика ном гирифтааст, тамоми соҳаи фаъолияти инсонро аз дастовардҳои техникаи компютерӣ ва технологияҳои навин баҳравар гардондааст. Саҳми иттилоот дар тамоми соҳаи фаъолияти инсон ба дараҷае афзудааст, ки он ба қатори ду омили ҳаётан муҳим, мода ва энергия шомил шудааст. Илмҳои табиатшиносӣ шакли махсуси пешрафти иқтисодӣ мебошанд. Омӯхтан ва пайгирии илмҳои табиатшиносӣ вазифаи муҳими тайёр намудани мутахассисони варзида мебошад. Барои ҳамин моро лозим аст, ки ба омӯзиши илмҳои табиатшиносӣ машғул шавем. Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ — Пешвои миллат, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон бо мақсади таҳкими заминаҳои илмӣ-техникӣ ва баланд бардоштани сатҳи донишҳои хонандагону донишҷӯён дар самти илмҳои табиатшиносӣ, риёзӣ ва дақиқ, солҳои 2020–2040-ро "Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, риёзӣ ва дақиқ дар соҳаи илму маориф" эълон намуданд. Ин ташаббуси стратегӣ ба рушди зеҳнии насли наврасу ҷавон, ташаккули тафаккури илмӣ ва таъмини пешрафти устувори кишвар равона шудааст. Бо дарки масъулият баланди инсонӣ бо пешниҳоди Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ, Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон солҳои 2020-2040 "Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, риёзӣ ва дақиқ дар соҳаи илму маориф" эълон шудааст, ки ин иқдом барои пешравии соҳаҳои техника ва технология дар мамлакат хеле муҳим ва саривақтӣ мебошад.

Баҳри амалӣ гардидани мақсаду мароми Пешвои муаззамамон мо устодон бояд дар баланд бардоштани сатҳу сифати таълим дар ҳамаи зинаҳои таҳсилот саҳмгузор бошем.

Солҳои охир вазъ дар соҳаи маориф ба шарофати барномаҳои давлатӣ оид ба моделронии компютерӣ ва ҷорӣ намудани технологияҳои иттилоотӣ-коммуникатсионӣ ба амалҳои омӯзгорӣ хеле тағйир ёфт.

Таъкид кардан зарур аст, ки азхуд кардани асосҳои назариявии физика бо ёрии дарсҳои амалии онҳо дар ҳалли масъалаҳои ҳисоббарорӣ, сифатӣ ва таҷрибавӣ самаранокӣ ба даст оварда мешавад.

Дар рафти машғулиятҳо донишҷӯён ва хонандагон донишҳои назариявӣ мегиранд ва дар машғулиятҳои амалӣ ин донишҳо дар амал татбиқ карда мешаванд. Илова бар ин, корҳои озмоишӣ ба ташаккули малакаҳои гузаронидани таҷрибаҳои физикӣ, коркарди маълумоти бадастомада ва дар шакли мувофиқ пешниҳод кардани натиҷаҳо мусоидат мекунанд.

Аз ин рӯ, дар мактабҳои муосир истифодаи технологияҳои иттилоотӣ ва коммутиатсионӣ (ТИК) дар дарсҳо хеле маъмул гаштааст.

Вазифаи муҳим аз он иборат аст, ки ин имкониятҳои нав ба бачагоне, ки имруз дар муасисаҳои таҳсилоти умумӣ ва донишгоҳҳо таҳсил мекунанд ғоидабахш бошанд. Дар робита ба ин, масъалаи усулҳои истифодаи ТИК ва ҷанбаи мундариҷаи захираҳои шабакавӣ ба мактаб ва донишгоҳҳо имкон медиҳанд, ки масъалаҳои таълимӣ дар сатҳи сифатан нав ҳал карда шаванд.

Истифодаи самараноки компютерҳо дар раванди таълим воситаи тавоноии техникаи таълим буда, барои татбиқи равандҳои нави таълиму тарбия имкониятҳо фароҳам меорад, ки омӯзгор дигар сарчашмаи ягонаи дониш буда наметавонад.

Дарсҳои онлайнӣ физика метавонад на танҳо барои муаллимон, балки барои донишҷӯён ва хонандагоне, ки мехоҳанд физикаро тавассути усулҳои амалӣ, дастрас, визуалӣ ва ҷолибанд, амиқ омӯзанд, кӯмаки арзишманд мерасонад.

Барои мисол, биёед як таҷрибаи виртуалиро баррасӣ кунем, ки ба паҳншавии мавҷҳои садо дар муҳити атроф бахшида шудааст. Барои бомуваффақият анҷом додани ин таҷриба, мо бояд аввал бо назарияи паҳншавии мавҷи садо шинос шавем.

Мавҷҳои садое, ки тавассути узви шунавоии инсон қабул карда мешаванд, одатан ҳамчун мавҷҳо тавсиф карда мешаванд, ки басомадашон аз 20 гертс то 20 килогертсро дар бар мегирад. Мавҷҳоеро, ки басомадашон аз 20 гертс камтар аст, инфрасадо ва мавҷҳое, ки басомадашон аз 20 килогертс зиёд аст, ултрасадо меноманд.

Паҳншавии мавҷҳои садо на танҳо дар газҳо, балки дар моеъҳо (дар шакли мавҷҳои тулӯӣ) ва дар ҷисмҳои сахт ҳам мавҷҳои тулӣ ва ҳам мавҷҳои кундаланг имконпазир аст. Аммо дар муҳити газе, ки ба муҳити атрофи мо хос аст, мавҷҳои садо аҳамияти махсус пайдо мекунанд.

Омӯзиши ҳодисаҳои садо, ки таҳти истилоҳи «акустика» муттаҳид шудаанд, дар қисми дахлдори физика амалӣ карда мешавад, ки онро «акустика» меноманд.

Паҳншавии мавҷҳои садо дар муҳити газӣ боиси тағйирёбии зичӣ (ρ) ва фишор (p) мегардад. Атомҳо ва молекулаҳои газ, ки бо мавҷ таъсир мекунанд, дар самти паҳншавии мавҷ бархӯрд мекунанд. Дар натиҷа, тағйироти даврии параметрҳои муҳити атроф ба амал меоянд.

Мавҷҳои садо дар газҳо одатан ҳамчун мавҷҳои зичӣ ё мавҷҳои фишор тавсиф карда мешаванд. Дар сурати мавҷҳои садои гармоникӣ оддӣ, ки тариқи тири ОХ паҳн мешаванд, тағйирёбии фишори $p(x, t)$ функсияи координата x ва вақти t мебошад.

$$p(x, t) = p_0 \cos(\omega t \pm kx). \quad (1)$$

Дар ин ифода аргументи функсияи косинус ду аломат дорад, ки ду самти имконпазири паҳншавии мавҷҳоро инъикос мекунанд.

Алоқамандии байни басомади даврӣ ω , адади мавҷ k , дарозии мавҷ λ ва суръати садо v ба вобастагӣ монанд аст, ки барои мавҷҳои кундаланг дар муҳити чандирӣ ба монанди тор ё резина мушоҳида мешавад:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}; \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}; \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}.$$

Суръати паҳншавии мавҷҳои садо, ки яке аз хусусиятҳои асосии мавҷ буда, бо хосиятҳои инерсиалӣ ва эластикӣ муҳити паҳншавӣ муайян карда мешавад. Барои муайян кардани суръати паҳншавии мавҷҳои тулонӣ дар муҳити якҷинса муодилаи зерин истифода мешавад.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}},$$

Дар ин муодила суръати садо ҳамчун решаи квадрати хосили модули фишурдани мунтазам (бо B ишора мешавад) ва таносуби доимии чандирӣ ба зичии миёнаи муҳити атроф (ρ) муайян карда мешавад.

Исаак Нютон кӯшиш кард, ки суръати садоро дар ҳаво ҳисоб кунад, бо назардошти он, ки чандирияти ҳаво ба фишори атмосферӣ баробар аст. Дар натиҷа, ҳисобҳои ӯ барои суръати садо камтар аз 300 м/с баробар буд. Аммо суръати ҳақиқӣ садо дар шароити муқарарӣ (ҳарорат 0°C ва фишор 1 атм) ба 331,5 м/с ва дар ҳарорати 20°C ва фишори 1 атм ба 343 м/с баробар мебошад.

Пас аз беш аз як аср олими фаронсавӣ Пьер-Симон Лаплас нишон дод, ки фарзияи Нютон ба фарзияи баробаршавии босуръати ҳароратҳо

байни сатҳҳои фишурдашуда ва васеъшудаи муҳити атроф баробар аст. Ин тахмин аз сабаби паст будани ҳарорати ҳаво ва кам будани амплитудаи лапишҳои мавҷи садо ба воқеият мувофиқ нест. Дарвоқеъ, дар байни қисмҳои фишурдашуда ва васеъшудаи газ фарқияти ҳарорат ба вуҷуд меояд, ки ба хосиятҳои чандирии муҳити атроф таъсири назаррас мерасонад.

Лаплас фарзияро ба миён гузошт, ки фишурдашавӣ ва васеъшавии газ дар мавҷи садо мувофиқи қонуни адиабатӣ, яъне бидуни ба назар гирифтани гармигузаронӣ сурат мегирад. Муодилаи Лаплас барои ҳисоб кардани суръати садо чунин аст:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}},$$

Суръати садо дар газ бо муодилае муайян карда мешавад, ки ба фишори миёна (p), зичии миёнаи газ (ρ) ва доимӣ (γ) вобаста аст, ки хусусияти хосиятҳои гази додашударо ифода мекунад. Барои газҳои дуатома бузургии γ ба 1,4 баробар аст. Ҳангоми ҳисоб кардани суръати садо аз руи муодилаи Лаплас барои газҳои дуатомӣ дар шароити муқарарӣ ба 332 м/с баробар аст.

Тибқи шартҳои термодинамика муқаррар карда шудааст, ки коэффисиенти адиабатӣ γ таносуби гармиғунҷоиши хосро дар фишори доимӣ (C_p) ба гармиғунҷоиши хос дар ҳаҷми доимӣ (C_v) ифода мекунад. Дар робита ба муодилаи Лаплас, муодилаи ҳолати гази идеалиро дар шакли тағирёфта барои ҳисоб кардани коэффисиенти адиабатӣ истифода бурдан мумкин аст:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}},$$

Суръати садо, аз ҷумла, бо хусусиятҳои муҳити паҳншавандаи он муайян карда мешавад. Мувофиқи муодила, суръати садо (v) ба решаи квадрати таносуби ҳарорат (T) ба массаи молярии газ (M) роста мутаносиб аст. R доимии универсалии газ (8,314 Ҷ/мол К) ва K доимии универсалӣ мебошад.

Чун қоида, массаи молярии газ ҳар қадар кам бошад, суръати садо дар он ҳамон қадар зиёд мешавад. Дар ҳаво ($M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/мол) дар шароити муқаррарӣ суръати садо 331,5 м/с аст. Барои гелий ($M = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/мол) суръати садо ба 970 м/с ва барои гидроген ($M = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/мол) - суръати садо 1270 м/с баробар аст.

Дар моеъ ва ҷисмҳои сахт суръати пахншавии мавҷҳои садо боз ҳам баландтар аст. Масалан, дар об дар температураи 20°C 1480 м/с ва дар пулод $5\text{—}6\text{ км/с}$.

Қабули садо тавассути гӯши инсон

Ҳангоми қабули садоҳои гуногун гӯши инсон пеш аз ҳама ба баландӣ, ки бо ҷараёни энергия ё шиддатнокии мавҷи садо муайян карда мешавад, вокуниш нишон медиҳад. Таъсири мавҷи садо ба пардаи гӯш аз фишори садо, яъне амплитудайи тағирёбии фишор (p_0) дар мавҷи додашуда вобаста аст.

Гӯши инсон офаридаи аҷиби табиат мебошад, ки қобилияти дарк кардани садоҳо дар доираи бениҳоят васеи шиддатҳо дар бар мегирад: аз садои базӯр шунидани магас то ғурриши гӯшношунидани вулқон. Ҳадди шунавоӣ ба бузургии p_0 , тақрибан 10^{-10} атм (10^{-5} Па) мувофиқат мекунад. Дар чунин шиддатнокии пасти садо молекулаҳои ҳаво дар мавҷи садо бо амплитудайи ҳамагӣ 10^{-7} см мелапанд. Сатҳи садои дардовар бо бузургии p_0 , тақрибан 10^{-4} атм (10 Па) тавсиф мешавад. Ҳамин тариқ, гӯши инсон қобилияти дарк кардани мавҷҳоро дорад, ки дар онҳо фишори садо миллион маротиба тағйир меёбад.

Азбаски шиддатнокии (баландии) садо ба квадрати фишори садо мутаносиб аст, диапазони шиддатнокии қабулшуда тақрибан 10^{12} мебошад. Дар муқоиса бо асбоби ченкунӣ метавон гуфт, ки гӯши инсон қодир аст ҳам диаметри атом ва ҳам андозаи майдони футболро сабт кунад.

Дар рафти муқоиса қайд кардан лозим аст, ки баландии садо ҳангоми суҳбати муқаррарӣ дар дохили бино аз ҳадди шунавоӣ тақрибан 106 маротиба зиёд аст. Дар навбати худ, баландии садо дар концертҳои калон ба дараҷае наздик мешавад, ки боиси дардноки мегардад.

Хусусияти муҳими мавҷҳои садо, ки дарки онҳоро тавассути шунавоӣ муайян мекунад, баландии садо аст. Гӯши инсон ларппишҳои мавҷҳои садои гармоникиро ҳамчун оҳангҳои мусиқӣ тавсиф медиҳад. Лаппишҳои басомадашон баланд ҳамчун садоҳои шиддатнокии баланд қабул карда мешаванд, дар ҳоле ки лаппишҳои басомади паст бо садоҳои шиддатнокии паст алоқаманданд. Овозҳое, ки аз асбобҳои мусиқӣ ва овози инсон тавлид мешаванд, метавонанд дар баландӣ ва диапазони басомад хеле фарқ кунанд. Масалан, диапазони пасттарин овози мардона (бас) аз 80 то 400 герс ва диапазони баландтарин овози занона (сопрано) аз 250 то 1050 гертс мебошад.

Фосилаи байни ду мавҷи садо, ки яке аз онҳо нисбат ба дигараш ду маротиба басомад дорад, октава номида мешавад.

Масалан, диапазони садои ғичак (скрипка) тақрибан сеюним октаваро (фосилаи ҳашт нота) фаро мегирад, ки ба басомадҳои аз 196 то 2340 герс мувофиқат мекунад. Доираи садои фортепиано васеътар буда, аз ҳафт октава (ҳашт нотаи мусиқӣ) зиёд буда, басомадҳои аз 27,5 то 4186 герсро фаро мегирад.

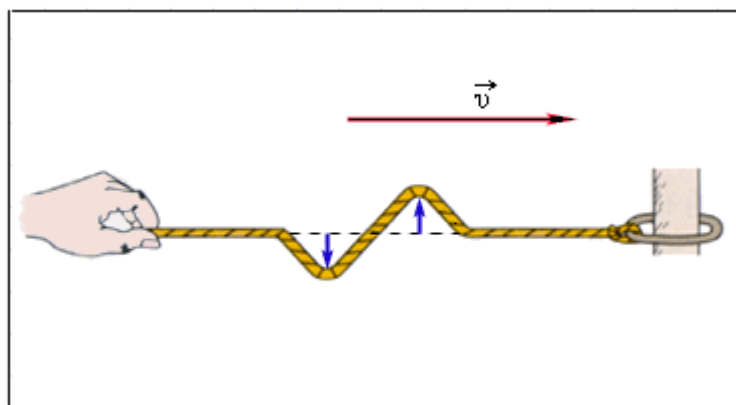
Ҳангоме, ки сухан дар бораи басомади садои тавассути торҳои асбоби мусиқӣ ба вучудодада меравад, мо басомади f_1 -и оҳанги асосиро дар назар дорем. Аммо, лаппишҳои сатр инчунин метавонанд лаппишҳои гармоникаҳоро бо басомади f_n дар бар гиранд, ки ба вобастагии зерин итоат мекунад:

$$f_n = n f_1, \quad (n = 1, 2, 3 \dots).$$

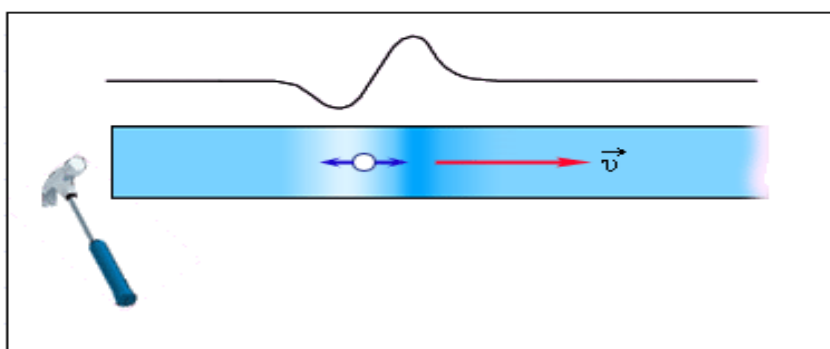
Дар ин ҳолат, сатри садонок қодир аст лаппишҳои садоро дар тамоми диапазони басомад тавлид кунад. Бархӯрди зарраҳое, ки дар ягон нуқтаи муҳити саҳт, моеъ ё газӣ амали мешаванд, аз як нуқта ба нуқтаи дигар бо суръати маҳдуд интиқол дода мешаванд ва бо атомҳо ва молекулаҳои муҳити атроф таъсири мутақобила мекунад. Ин ҳодисаи паҳншавии ангеизишҳо дар муҳити атроф мавҷ номида мешавад. Мавҷҳои механикӣ метавонанд табиати гуногун дошта бошанд. Агар лаппиши заррачаҳои муҳит дар мавҷ ба самти паҳншавии он перпендикуляр ба амал ояд, чунин мавҷро кундаланг меноманд. Намунаҳои мавҷҳои кундаланг лаппишҳои ресмони дарозшуда ё тасмаи резиниро дар бар мегиранд (ниг. расми 1).

Агар ҷойгиршавии зарраҳои муҳит ба самти паҳншавии мавҷҳо равона бошад, мавҷ тулонӣ номида мешавад. Намунаи чунин мавҷҳо мавҷҳо дар милаи чандирӣ (расми 2) ё мавҷҳои садоӣ дар газ мебошанд.

Мавҷҳо дар сатҳи моеъ низ аз ташкилкунандаҳои (ҷузъҳои) кундалӣ ва тулонӣ иборат мебошанд. Дар мавҷҳои кундалӣ ва тулонӣ интиқоли модда дар самти паҳншавии мавҷҳо вучуд надорад. Дар ҷараёни паҳншавии зарраҳо дар муҳити атроф танҳо лаппишҳои гармоникиро дар атрофи мавҷеҳои мувозинат ба вучуд меоранд. Ин мавҷҳо энергияи лаппишро аз як нуқтаи муҳити атроф ба нуқтаи дигар мебаранд.



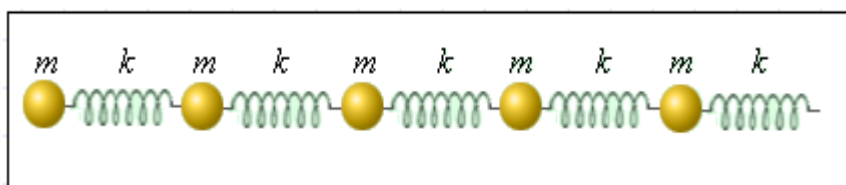
Расми 1. Паҳниавии мавҷҳои кундаланг қад-қади тасмаи резинии дарозӣ кашида



Расми 2. Паҳниавии импулси мавҷи тулонӣ дар қад-қади милаи чандирӣ

Мавҷҳои механикӣ, бар хилофи мавҷҳои электромагнитӣ, ба монанди мавҷҳои рӯшноӣ, паҳншавии онҳо муҳити моддиро талаб мекунанд. Ин восита бояд қобилияти ҷамъ кардани энергияи кинетикӣ ва потенциалиро дошта бошад. Ба ибораи дигар, муҳити атроф бояд хусусияти чандирӣ ва инерсиалӣ дошта бошад. Дар шароити воқеӣ ин хосиятҳо дар тамоми ҳаҷми муҳит тақсим карда мешаванд.

Барои нишон додан, мо метавонем модели оддӣ якченакаи ҷисми сахтро ҳамчун системаи сақоҳи таъсири мутақобилдошта (массаро ифодакунанда) ва пружинаҳо (хосиятҳои чандириро инъикоскунанда) тасаввур кунем. Модели мазкур дар расми 3 нишон дода шудааст.



Расми 3. Модели содатарини якченакаи ҷисми сахт

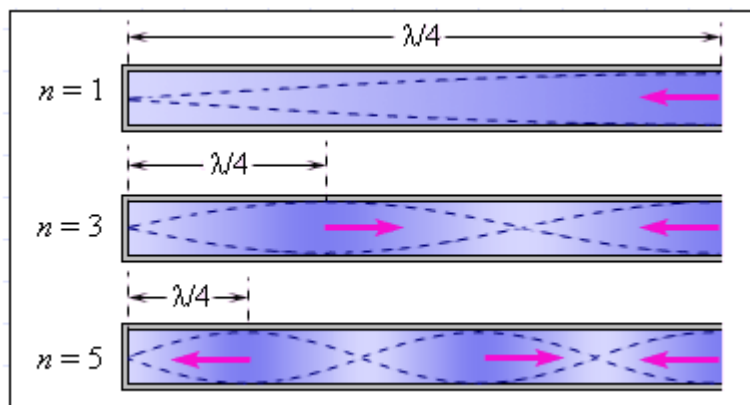
Дар ин модел хосиятҳои инерсиалӣ ва чандирии мавод фарқ мекунад. Массай элементҳои алоҳидаи модел (блокҳо) ба m баробар гирифта

мешавад ва сахтии пружинахое, ки онхоро пайваст мекунанд $*k*$ мебошад. Чунин моделҳои соддашуда имкон медиҳанд, ки паҳншавии мавҷҳои тулонӣ ва кундалӣ дар ҷисми саҳт тасвир карда шаванд.

Вақте ки мавҷҳои тулонӣ паҳн мешаванд, дандонҳо (унсурҳои модел) қад-қадӣ занҷир ҳаракат мекунанд ва пружаҳо дароз ё фишурда мешаванд. Ин намуди деформатсияро деформатсияи кашиш ё фишурда меноманд (ниг. §1.12). Дар моеъҳо ва газҳо чунин деформатсия бо тағирёбии зичӣ-фишурдан ё камёбӣ ҳамроҳӣ карда мешавад.

Амплитудайи мавҷҳо ба усули ангишти тор, ки тембри садоро муайян мекунад, вобаста аст. Чунин ҳолат дар асбобҳои мусиқии нафасӣ низ мушоҳида карда мешавад. Дар шароити муайян дар дохили камераҳои ҳавоии асбобҳо мавҷҳои садои бефосила ба вуҷуд меоянд.

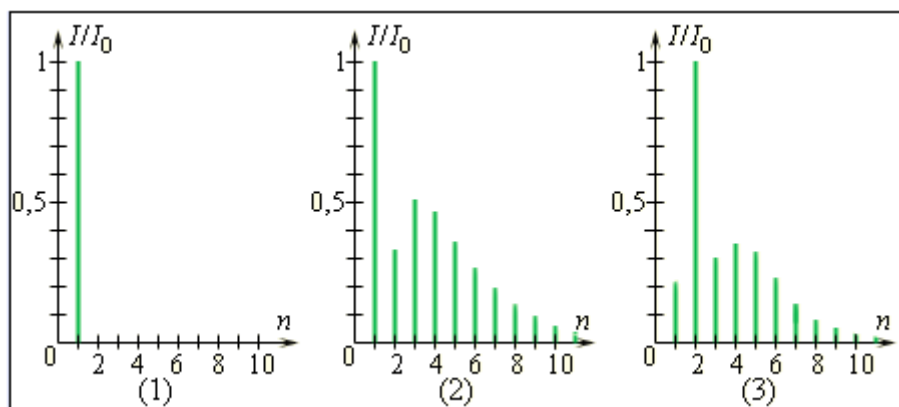
Дар расми 4 якчанд намуди мавҷҳои доимӣ (ҳолати) дар қубури узвӣ, ки аз як канори дигар баста ва аз тарафи дигар кушода аст, нишон дода шудааст. Овозхое, ки аз қубурҳои асбобҳои нафасӣ тавлид мешаванд, аз як қатор мавҷҳои дорои басомадҳои гуногун иборатанд.



Расми 4. Мавҷҳои доимӣ дар қубури узв, ки аз як канори дигар баста ва кушода аст. Тирчаҳо самти ҳаракати заррачаҳои ҳаворо дар давоми як ним давраи лаппишҳо нишон медиҳанд.

Ҳангоми ҷуркунии асбобҳои мусиқӣ асбобе, ки камертон ном дорад, васеъ истифода мешавад. Ин сохторест, ки аз резонатори ҷӯбии акустикӣ бо ҷӯбчаи металли пайвастшуда ба басомади лаппиши муайян танзим карда шудааст. Таъсири болға ба ҷӯб тамоми системаро ба ангишти меорад, ки дар натиҷа оҳанги тозаии мусиқӣ тавлид мешавад.

Садои пайвандии инсон инчунин ҳамчун резонатори акустикӣ амал мекунанд. Дар расми 5 спектрҳои мавҷҳои садоӣ, ки тавассути ҷӯйбор, тори фортепиано ва овози зан (альто) як нотаро навохтаанд, нишон дода шудааст.



Расми 5. Интенсивнокии нисбии гармоника дар спектри мавҷҳои садои

Дар расми 5 интенсивнокии нисбии гармоника дар спектри мавҷҳои садои садоие, ки тавассути тюнинг (1), фортепиано (2) ва овози пасти занона (алто) (3) ҳангоми навохтани нотаи контроктаваи «А» ($f_1 = 220$) Hz)) тавлид мешаванд, нишон дода шудааст. Шиддати нисбии I / I_0 дар меҳвари ордината нишон дода шудааст.

Сарфи назар аз баландии якхела, мавҷҳои садо, ки спектрҳои басомади онҳо дар расми 5 оварда шудаанд, садоҳои гуногунро доранд.

Ҳодисаи занишро дида бароем, ки он ҳангоми ба ҳам наздик омадани ду мавҷи садои гармоникӣ басомадҳояшон номувофиқ амали мешавад. Ин ҳодиса вақте мушоҳида мешавад, ки ду сатр ё тори гитара дар як вақт ба садои тақрибан як басомад ҷур карда мешаванд. Дар натиҷаи чунин ҷуркунии якбора шакли ритмӣ ба вучуд меояд, ки онро гӯш ҳамчун оханги гармонӣ бо баландии даври тағйирёбанда қабул мекунад.

Фишори садои p_1 ва p_2 , ки ба гӯш таъсир мерасонанд, мувофиқи қонунҳои зерин тағйир дода мешавад

$$p_1 = A_0 \cos \omega_1 t \quad \text{ва} \quad p_2 = A_0 \cos \omega_2 t.$$

Барои содда будан, биёед чунин ҳолатро дида бароем, ки амплитудаҳои мавҷҳои фишори садо ба $p_0 = A_0$ баробаранд.

Тибқи шартҳои суперпозиция, фишори ҳарду мавҷ дар лаҳзаи муайяни вақт аз рӯи ҷамъи фишорҳои садое, ки ҳар як мавҷ дар ҳамон лаҳзаи вақт тавлид мекунад, муайян карда мешавад.

Таъсири сумавино, ки дар натиҷаи болои ҳам хобидани ду мавҷ ба вучуд омадааст, метавонем тавассути амалҳои тригонометрӣ ба таври математикӣ ифода намоем.

Оҳанги расмӣ:

Натиҷаи интерференсияи ду мавҷро метавонем бо истифода аз тағироти тригонометрӣ тавсиф кунем.

$$P = P_1 + P_2 = 2A_0 \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \\ = 2A_0 \cos\left(\frac{1}{2}\Delta\omega t\right) \cos(\omega_m t),$$

дар ин ҷо

$$\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2, \quad \omega_m = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$

Дар расми 6. (1) вобастагии фишорҳои p_1 ва p_2 аз вақти t нишон дода шудааст. Дар лаҳзаи ибтидоии вақт $t = 0$, фазаҳои ҳарду мавҷ бо ҷамъи амплитудаҳо мувофиқат мекунанд. Аз сабаби каме номувофиқ будани басомадҳои лаппиш пас аз фосилаи муайяни вақти t_1 вобастагии фазавии мавҷҳо вайрон мешавад, ки ин боиси ба сифр баробар шудани амплитудайи ҳосилшуда (ҳодисаи интерференция) мегардад. Дар вақти $t_2 = 2t_1$ мавҷҳо боз дар фаза ҷамоҳанг (мувофиқ) мешаванд (ниг. Расми 6.(2)).

Фосилаи минималии вақт, ки ду лаҳзаро бо амплитудайи максималии лаппишҳо (ё минимум) ҷудо мекунад, давраи лаппиш T_3 номида мешавад. Амплитудайи оҳиста-оҳиста тағйирёбандаи мавҷи ҳосилшуда A аз p -и муодилаи зерин муайян карда мешавад:

$$A = 2A_0 \left| \cos \frac{1}{2} \Delta\omega t \right|.$$

Тағйирёбии амплитудайи даври заниш T_3 ба $2\pi / \Delta\omega$ баробар аст.

Таҳлили интерференсияи мавҷҳои садо: Дар заминаи интерференсияи ду мавҷи садо бо даври лаппиши фишор T_1 ва T_2 -ро ки дар онҳо $T_1 < T_2$ (яъне $\omega_1 > \omega_2$) мебошад чунин нишон додан мумкин аст:

Дар даври зарбаи T_3 , n даври пурраи зарбаҳои мавҷи якум ва $(n - 1)$ даври зарбаҳои дуюм вучуд доранд.

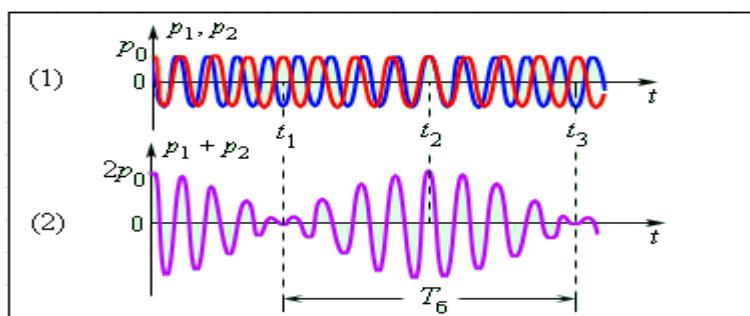
$$T_3 = nT_1 = (n - 1) T_2.$$

Аз ин бармеояд:

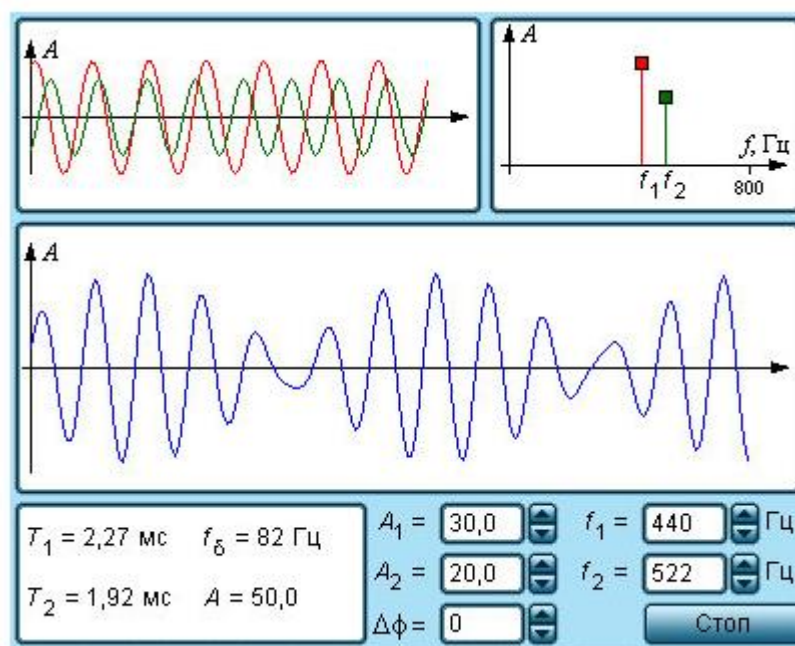
$$T_3 = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} = \frac{2\pi}{\omega_1 - \omega_2} = \frac{2\pi}{\Delta\omega}, \quad f_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} = f_1 - f_2 = \Delta f.$$

Ҳамин тариқ, басомади садои қабулшаванда f_3 ба фарқияти басомади Δf -и ду мавҷи садои асли баробар аст.

Бояд қайд кард, ки гӯши инсон қодир аст мавҷҳои садоро бо басомади то $5 \cdot 10^4$ Гс қабул кунад. Истифодаи шартҳои интерференсия дар танзими асбобҳои мусиқӣ васеъ истифода мешавад ва имкон медиҳад, ки садои мувофиқ ба даст ояд.



Расми 6. Занишҳое, ки ҳангоми ҷойгир кардани ду мавҷи садои басомадашон якхела ба амал меоянд



Расми 7. Модели занишҳо

Даври заниш T_3 фосилаи пайвастшавии лаҳзаҳои вақт мебошад, ки амплитудайи лапиш ба сифр майл мекунад ва фазаи лапишҳо бо бузургии π меафзояд.

Заниш як ҳодисаи физикие мебошад, ки ҳангоми болоиҳам ҳобидани ду лапишҳои даврӣ бо басомадҳои наздик мушоҳида мешавад, масалан гармоника. Хусусияти характерноки резонанс тағйирёбии даврии амплитудайи садои (сигнал) бавучудода ба фазаҳои ивазшавандаи пурзӯршавӣ ва сустшавӣ мебошад.

Андозаи оҳанги заниш асоси ченкунии дақиқи фарқиятҳои хурди байни ду басомади наздик, аз ҷумла, муқоисаи басомади муайяни ченшуда бо басомади эталонӣ мебошад.

$$T_3 = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} = \frac{2.27 \text{ мс} \times 1.92 \text{ мс}}{1.92 \text{ мс} - 2.27 \text{ мс}} = \frac{4.3584 \text{ мс}}{-0.35 \text{ мс}} = 12.452 \text{ мс}$$

$$f_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} = \frac{1}{2.27} - \frac{1}{1.92} = 0.440\text{мс} - 0.522\text{мс} = -0.082\text{мс} = 82\text{Гц}.$$

$$\Delta A = A_1 + A_2 = 50.$$

Дар расми 7 модели пайдоиши занишҳои садо дар натиҷаи илова кардани ду лаппиш бо басомадҳои наздик нишон нишон дода шудааст. Бо тағйир додани амплитудаҳои A_1 ва A_2 ва басомадҳои f_1 ва f_2 -и лаппишҳо мо метавонем тағйирёбии фазаҳои $\Delta\varphi$ ва шакли занишҳоро мушоҳида кунем. Дар модели компютерӣ басомади заниш f_3 ва амплитудайи онҳо A нишон дода мешаванд.

Хулоса, бояд таъкид кард, ки моделсозии компютерӣ ба донишҷӯён имкони беназири эҷоди моделҳои виртуалии объектҳои физикии воқеиро бидуни истифодаи таҷҳизоти гаронбаҳои озмоишӣ фароҳам меорад. Дар ин мақола намунаи корҳои таҷрибавии виртуалӣ дар бахши оптикаи мавҷӣ, ки ба паҳншавии мавҷҳои садо бахшида шудааст, оварда шудааст. Ин усул имкон медиҳад, ки натиҷаҳои ҳодисаҳои физики муфасссал омукта ва таҳлил карда шавад.

Донишҷӯ бояд аввал бо таъя ба адабиёти дахлдор, асосҳои назариявии кори таҷрибавиро омӯзад ва баъд ба гузаронидани таҷрибаи виртуалӣ шуруъ намояд.

Садо як ҳодисаи физикие мебошад, ки паҳншавии мавҷҳои чандириро дар муҳити газӣ, моеъ ё сахт тавсиф мекунад. Агар сода карда фаҳмонем, садо ба мавҷҳое алоқаманд аст, ки дар робита бо он онҳоро мо тавассути ҳиссиёт чӣ гуна қабул карда метавонем. Манбаи садо ҳисме шуда метавонад, ки лаппишҳои механикиро тибқи қонуни муайян иҷро карда метавонад. Дар умум, садо маҷмӯи мавҷҳои басомадҳои гуногун мебошанд. Тақсимои интенсивият аз рӯи басомадҳо dI/df метавонад ҳамвор (давом) ё бо максимумҳои баланд дар шакли $f=f_1+f_2+\dots$ (дискретӣ) бошад. Дар шакли сода онҳо аксар вақт ба як мавҷи басомадаш муайян алоқаманди мекунад.

Одами оддӣ метавонад лаппишҳои садоро дар диапазони басомади аз 16–20 Гц то 15–20 кГц қабул кунад. Садое, ки аз доираи шунавоии инсон поёнтар аст, инфрасадо номида мешавад; баландтар: то 1 ГГц - ултрасадо, аз 1 ГГц – гиперсадо. Ба тахмини аввал, ҳаҷми садоро амплитудайи мавҷ ва оҳанг, баландии садоро басомад дикта(алоқаманд) мекунад. Аниқтараш, баландии садо ба таври комплексӣ ба фишори таъсирбахши садо вобаста буда, басомад ва ларзиш ва баландӣ на танҳо ба басомад, балки ба бузургии фишори садо низ вобаста мебошад.

Дар байни садоҳои шунавоӣ, фонетикӣ, нутқ ва фонемаҳо ҷудо мешаванд ва садоҳои мусиқӣ фарқ мекунанд. Овозҳои мусиқӣ на як, балки якчанд оҳагро ва баъзан ҷузьҳои садоро дар доираи васеи акустикӣ дар бар мегиранд.

Моделсозии компютерӣ имкон медиҳад, ки бидуни истифодаи таҷҳизоти физикӣ тадқиқот гузаронида шавад. Моделҳои компютерӣ ба шумо имкон медиҳад, ки моделҳои воқеии физикии қариб ҳама гуна мураккабо эҷод кунед.

Ба сифати мисол дар мақола як таҷрибаи виртуалиро дар бахши оптикаи мавҷӣ, ки ба мавзӯи «Паҳншавии мавҷҳои садо» бахшида шудааст, дида баромадем. Пеш аз оғози кори озмоишӣ донишҷӯ бояд бо истифода аз адабиёти тавсияшуда асосҳои назариявии дахлдорро омӯзад.

Адабиёт:

1. *Горелик Г. С.* Колебания и волны: введение в акустику, радиофизику и оптику / - Москва; Ленинград: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1950. - 551 с.
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики: учебное пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.
3. *Кавтрев А.Ф.* "Методика использования компьютерных моделей на уроках физики". Пятая международная конференция "Физика в системе современного образования" (ФССО-99), тезисы докладов, том 3, Санкт-Петербург: "Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена", с. 98-99, 1999.
4. *Кавтрев А.Ф.* "Опыт использования компьютерных моделей на уроках физики в школе "Дипломат", Сборник РГПУ им. А.И. Герцена "Физика в школе и вузе", Санкт-Петербург: "Образование", с. 102-105, 1998.
5. *Тошбой Бобоев, Фарҳод Раҳимӣ, Ҳоҷазода Тоҳир, Давлат Солиҳов, Фарҳод Истамов.* Физика, - Душанбе 2020 с.222-243.
6. *Пирмаҳмад Нуров.* Фарҳанги мухтасари русӣ ба тоҷикии истилоҳоти илмҳои дақиқ ва техникӣ. Душанбе 2013. 611 с.
7. *Газарян С.* В мире музыкальных инструментов: Книга для учащихся старших классов. - 2-е изд. - М.: Просвещение, 1989. – 192 с.
8. <https://fizinfotech.jimdofree.com/2020/10/19/виртуальные-лабораторные-работы-по-физике/> (санаи воридшавӣ: 10.10.2023)

МОДЕЛИ КОМПЮТЕРИИ ҲОДИСАИ ПАҲНШАВИИ МАВҶҶОИ САДО

Фишурда. Мо дар ин мақола кори озмоишии виртуалиро вобаста ба қисми оптикаи мавҷӣ дар физика оиди мавзӯи “Паҳншавии мавҷҳои садо” дида баромадем. Корҳои озмоишии виртуалӣ имкон медиҳанд, ки натиҷаҳои ҳодисаҳои физикӣ ба пурагӣ таҳлил карда шавад. Донишҷӯ бояд бо назарияи кори озмоишӣ бо истифода аз адабиёти лозима ба пурагӣ шиносои пайдо карда, баъдан ба иҷрои кори озмоишӣ шуруъ намояд.

Усулҳо ва воситаҳои тадқиқоти физикӣ қариб дар ҳама соҳаҳои фаъолияти инсон мавҷеи худро дорад. Бинобар ин нақши фанни мазкур дар тайёр кардани мутахассисони муосири ҳама гуна ихтисосҳо беандоза мебошад.

Амсиласозии компютерӣ имкон медиҳад, ки бе таҷҳизоти озмоишӣ кор карда шавад ва имкон медиҳад, ки қариб ҳамагуна модели воқеии физикӣ аз нав сохта шавад. Ҳамзамон бояд қайд кард, ки дар мақолаи мазкур кори озмоишии виртуалӣ вобаста ба қисми оптикаи мавҷӣ оид ба паҳншавии мавҷҳои садо дида баромада шудааст.

Калидвожаҳо: Амсиласозии компютерӣ, садо, мавҷ, даври лапиш, басомади лапиш, физика, заниш, амплитуда ва ғайра.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ЯВЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКОВЫХ ВОЛН

Аннотация. В данной статье мы рассмотрели виртуальную экспериментальную работу, связанную с разделом физики волновой оптики по теме «Распространение звуковых волн». Виртуальная экспериментальная работа позволяет детально анализировать результаты физических явлений. Студент должен полностью ознакомиться с теорией экспериментальной работы, используя необходимую литературу, а затем приступить к выполнению экспериментальной работы.

Методы и инструменты физических исследований находят свое место практически во всех областях человеческой деятельности. Поэтому роль этой дисциплины в подготовке современных специалистов всех профилей огромна.

Компьютерное моделирование позволяет работать без испытательного оборудования и позволяет воссоздать практически любую реалистичную физическую модель. В то же время следует отметить, что в данной статье рассматриваются виртуальные экспериментальные работы, относящиеся к разделу волновой оптики по распространению звуковых волн.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, звук, волна, период плескания, частота плескания, физика, вибрация, амплитуда и т. д.

COMPUTER MODELS OF SOUND WAVE PROPAGATION PHENOMENON

Annotation. In this article, we have considered a virtual experimental work related to the section of wave optics physics on the topic of "Propagation of sound waves". Virtual experimental work allows you to analyze in detail the results of physical phenomena. The student must fully familiarize himself with the theory of experimental work, using the necessary literature, and then begin to carry out experimental work.

Methods and tools of physical research find their place in almost all areas of human activity. Therefore, the role of this discipline in the training of modern specialists of all profiles is enormous.

Computer modeling allows you to work without testing equipment and allows you to recreate almost any realistic physical model. At the same time, it should be noted that this article considers virtual experimental works related to the section of wave optics on the propagation of sound waves.

Key words: computer simulation, sound, wave, splash period, splash frequency, physics, vibration, amplitude, etc.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Умаров Анварҷон Нуралиевич – Донишгоҳи давлатии Данғара, номзади илмҳои техникаӣ, дотсенти кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Олимӣ Ашуралӣ Рамазон – Донишгоҳи давлатии Данғара, номзади илмҳои физикаю математика, дотсенти кафедраи физика. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 555-05-09-24. **E-mail:** olimov_19641@mail.ru.

Азимов Саидброҳим – Донишгоҳи давлатии Данғара, номзади илмҳои физика математика, дотсенти кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 933310633.

Исозода Афзалишо Зӣёдулло – Донишгоҳи давлатии Данғара, муаллими калони кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 885556595.

Сведения об авторах:

Умаров Анварджон Нуралиевич - Дангаринский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, н. э. Дангара, ул. Маркази, 25. **Телефон:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Олими Ашурали Рамазан – Дангаринский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики. **Адрес:** 735320, Республика

Таджикистан, р. Дангара, ул. Маркази, д. 25. **Телефон:** (+992) 555-05-09-24. **E-mail:** olimov_19641@mail.ru.

Азимов Саидиброхим - Дангаринский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, р. Дангара, ул. Маркази, 25. **Телефон:** (+992) 933310633.

Исозода Афзалшо Зиёдулло - Дангаринский государственный университет, старший преподаватель кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, р. Дангара, ул. Маркази, 25. **Телефон:** (+992) 885556595.

Information about the authors:

Umarov Anvarjon Nuralievich - Dangara State University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, Dangara district, Markazi str., 25. **Phone:** (+992) 887777716. **E-mail:** anvarrr_1994@jmail.com.

Olimi Ashurali Ramazan – Dangara state University, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the department of physics. **Address:** 734065, Republic of Tajikistan, Dangara district, st. Central, 25. **Phone:** (+992) 555-05-09-24. **E-mail:** olimov_19641@mail.ru.

Azimov Saidibrohim - Dangara State University, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, Dangara district, Markazi str., 25. **Phone:** (+992) 933310633.

Isozoda Afzalsho Ziedullo - Dangara State University, Senior Lecturer at the Department of Computer Science and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, N. E. Dangara, Markazi str., 25. **Phone:** (+992) 885556595.

Муқарриз: Ризоев С.Ғ. – н.и.ф.-м., Донишгоҳи давлатии Данғара

**АМСИЛАСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ «МУҚОЙСАИ МИҚДОРИ ГАРМӢ
ҲАНГОМИ ОМЕХТА КАРДАНИ ОБҲОИ ҲАРОРАТАШОН
ГУНОГУН» (ОЗМОИШГОҲИ ВИРТУАЛӢ)**

**Олимӣ А.Р., Шодиев М. С.
Донишгоҳи давлатии Данғара**

Дар дарсҳои озмоишии виртуалӣ назарияи кори озмоиши татбиқ карда мешавад. Дар гузаронидани ченкунии физикӣ, коркард ва пешниҳоди натиҷаҳо малака ва маҳорати амалии хонандагон ва донишҷӯён ташаккул меёбад. Физика барои рушди фанҳои махсус замина мегузорад, бинобар ин нақши фанни мазкур дар тайёр кардани мутахассисони муосири ҳама гуна ихтисосҳо беандоза мебошад.

Қайд кардан бамаврид аст, ки дарсҳои озмоишӣ, лексияҳо ва семинарҳо, усулҳои таълими физика буда дар низоми таҳсилоти имрӯза нағз ба роҳ монда шудааст. Дар гузаронидани ченкунии физикӣ, коркард ва пешниҳоди натиҷаҳо малака ва маҳорати амалии донишҷӯён ва хонандагон ташаккул меёбад.

Назарияи кори озмоишӣ чунин аст: Миқдори гармӣ энергияест, ки ҷисм ҳангоми интиқоли гармӣ мегирад ё аз худ медиҳад: Миқдори гармӣ бо ҳарфи Q ишора карда мешавад:

Воҳиди ченкунии миқдори гармӣ дар СИ ҷоул мебошад:

$$|Q| = 1\text{Ҷ}.$$

Чи қадаре, ки ҳарорати ҷисмро ҳангоми тағйирёбии массааш зиёд кунем, миқдори гармии ба ҷисм додашуда ё қабулкарда ҳамон қадар зиёд мешавад. Тарқиқи таҷрибавӣ муайян карда шудааст, ки миқдори гармӣ ба тағйирёбии ҳарорат мутаносиби роста мебошад:

$$Q = (t_1 - t_2).$$

Миқдори гармӣ ба масса низ мутаносибияти роста мебошад:

$$Q \sim m.$$

Миқдори гармиро ҳангоми гарм кардан ё хунук кардани ҷисм тавассути ҳосили зарби гармиғунҷоиши ҳосил модда c ва массаи ҷисм m ва тағйирёбии ҳарорати он $(t_1 - t_2)$ ё Δt муайян мекунад.

$$Q = cm(t_1 - t_2) \quad \text{ё} \quad Q = cm\Delta t$$

Миқдори гармӣ энергияест, ки ҷисм ҳангоми интиқоли гармӣ мегирад ё аз худ медиҳад.

Ҳангоми гарм кардани ҷисм $t_1 > t_2$, миқдори гармӣ қимати мусбат мегирад.

Ҳангоми хунукшавии ҷисм $t_1 < t_2$, натиҷаи ҳисоб кардани миқдори гармӣ қимати манфиро мегирад. Дар ин ҳолат, аломати манфӣ нишон медиҳад, ки энергия аз тарафи ҷисм ҷудо карда мешавад, аммо ҳуди энергия қиммати манфӣ надорад.

Системаи ҷисмҳоро гарминигаҳдоранда меноманд, агар бо муҳити атроф мубодилаи гармӣ надошта бошанд.

Дар системаи сарбасти гарминигаҳдоранда, ду ҷисми массаашон m_1 ва m_2 ҳангоми дар мувозинати гармӣ қарор доштани системаи термодинамикӣ, миқдори гармиро, ки ҷисми гарм медиҳад ба миқдори гармии қабулкардаи ҷисми хунук баробар аст.

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow cm_i(t_{\text{гарм}} - t) = cm_i(t_{\text{хунук}} - t)$$

Q_1 -миқдори гармие, ки ҷисми гарм медиҳад;

Q_2 - миқдори гармие, ки ҷисми хунук қабул мекунад;

$t_{\text{гарм}}$ -ҳарорати ҷисми гарм;

$t_{\text{хунук}}$ - ҳарорати ҷисми хунук;

t -ҳарорати системаи ҷисмҳо;

c -гармиғунҷоиши хоси ҷисм.

Равзанаи кори озмоишии “Муқоисаи миқдори гармӣ ҳангоми омехта кардани обҳои ҳарораташон гуногун” дар расми 1 оварда шудааст.

Мақсади кори озмоишии виртуалӣ: таҳқиқи муқоисаи миқдори гармӣ ҳангоми омехта кардани обҳои ҳарораташон гуногун мебошад.

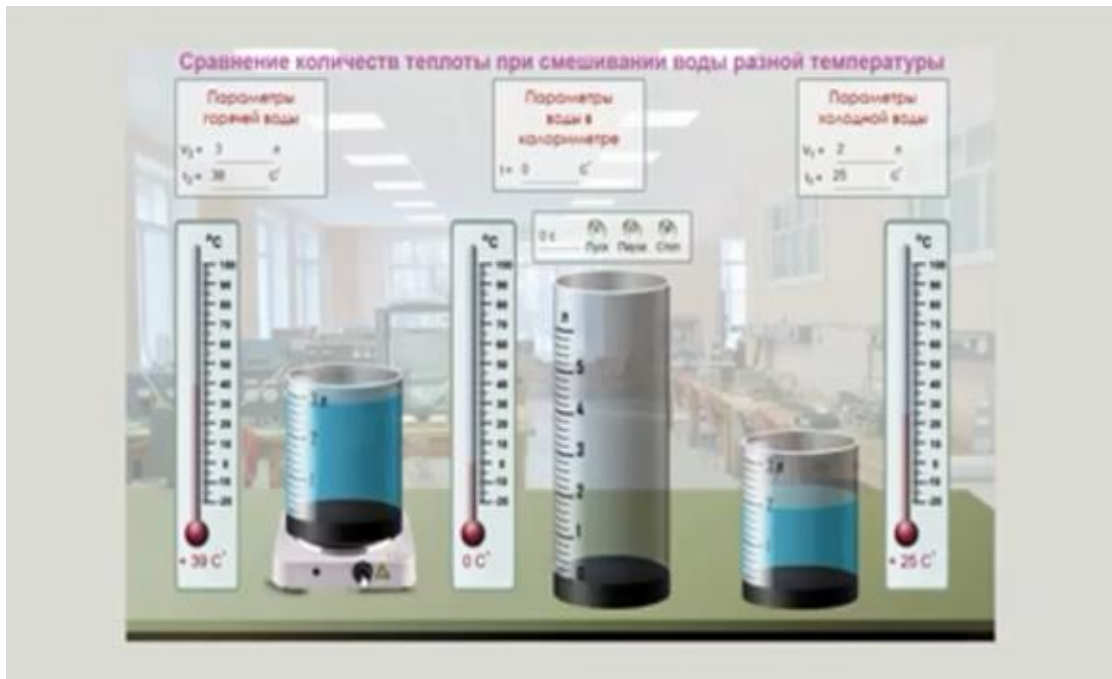


Расми 1. Равзанаи кори озмоишии “Муқоисаи миқдори гармӣ ҳангоми омехта кардани обҳои ҳарораташон гуногун”

Дар расми 1 равзанаи кори озмоишии виртуалӣ нишон дода шудааст, ки ҳангоми дохил кардан қимати бузургиҳои ченшаванда натиҷаи таҷриба тариқи худкор муайян карда мешавад. Асбобҳо дар шакли электронӣ оварда шудаанд.

Асбобу анҷом: Калориметр, ду зарфи обдор, се термометр, гармкунаки электрикӣ, блоки идоракунии.

Ҳаҷми обро дар зарфи тарафи чап ҷойгирбуда барои оби гарм муайян мекунем. Ҳарорати ибтидоии обро дар зарфи тарафи чап муайян мекунем

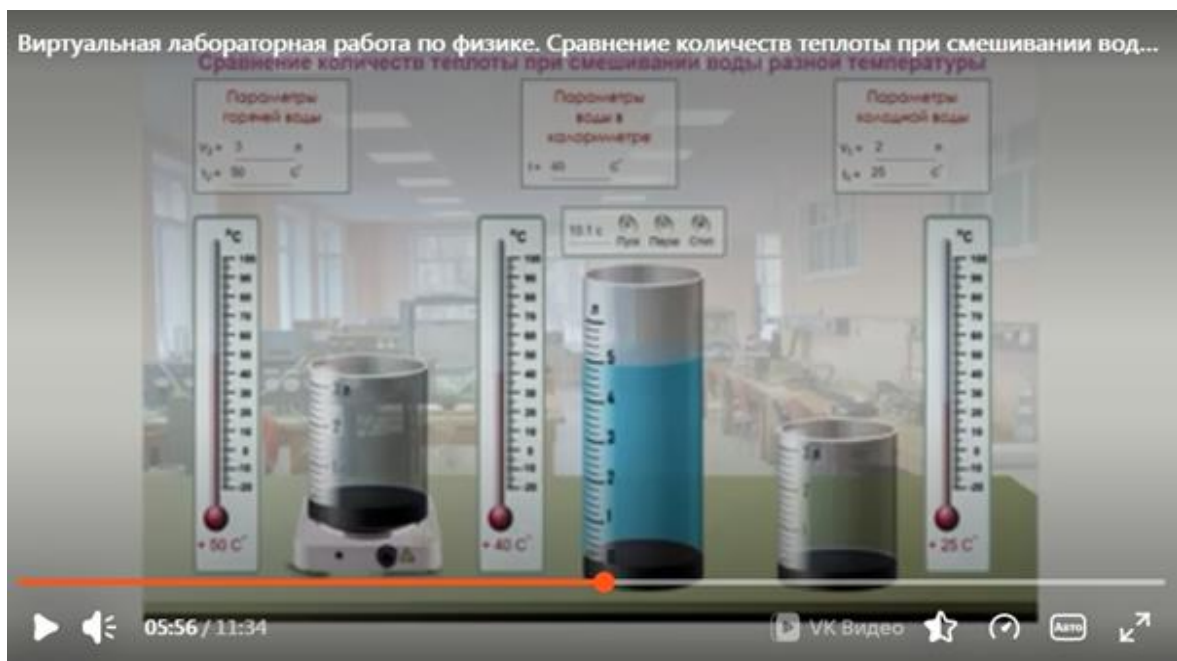


Расми 2. Равзанаи кори озмоишии “Муқоисаи миқдори гармӣ ҳангоми омехта кардани обҳои ҳарораташон гуногун”

Дар расми 2 равзанаи кори озмоишии виртуалӣ нишон дода шудааст. Зарфи обдори тарафи чапбударо болии гармкунаки электрики гузошта обро то ҳарорати 50 °C гарм мекунем. Баъд оби гаркардашударо ба зарфи холи мерезем.



Расми 3. Равзанаи кори озмоишии “Муқоисаи миқдори гармӣ ҳангоми омехта кардани обҳои ҳарораташон гуногун”



Расми 4. Равзанаи кори озмоишии “Муқоисаи миқдори гармӣ ҳангоми омехта кардани обҳои ҳарораташон гуногун”

Ҳаҷми обро дар зарфи тарафи ростбуда барои оби хунук муайян мекунем. Ҳарорати аввалии обро дар зарфи рост барқарор мекунем. Гармунаки электрикиро пайваस्त намуда, обро то ҳарорати 50°C гарм мекунем. Оби гармро ба калориметр мерезем. Ба болои оби гарми калориметр оби хунукро мерезем.

Ҳарорати омехтаи ҳосилшуда t -ро чен мекунем. Микдори гармии аз оби гарм бароварда Q_2 -ро бо муодилаи зерин ҳисоб мекунем:

$$Q_2 = cm_2(t_{\text{гарм}} - t)$$

$$m_2 = \rho_{\text{об}} \times V_{\text{Г}}; \rho_{\text{об}} = 1000 \text{ кг/м}^3; V_{\text{Г}} = 0.003 \text{ м}^3; m_2 = 1000 \text{ кг/м}^3 \times 0.003 \text{ м}^3 = 3 \text{ кг}.$$

$$Q_2 = c_{\text{об}}(t_2 - t); c_{\text{об}} = 4200 \frac{\text{Ҷ}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})}; (t_2 - t) = 50^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 4200 \text{ Ҷ/}(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \times 3 \text{ кг} \times 10^\circ\text{C} = 126000 \text{ Ҷ}.$$



Расми 5. Равзанаи кори озмоишии “Муқоисаи миқдори гармӣ ҳангоми омехта кардани оби ҳарораташон гуногун”

Дар расми 4 ва 5 равандаи кори озмоишии виртуалӣ нишон дода шудааст. Зарфи оби хунукро, ки дар тарафи рости раванда қарор дорад ба болои оби гарм мерезем. Аз равандаи кори озмоишӣ дида мешавад, ки температураи аввалаи оби гарм $t_2 = 50^\circ\text{C}$, температураи аввалаи оби хунук $t_1 = 25^\circ\text{C}$, температураи омехта $t = 40^\circ\text{C}$, массаи оби гарм $m_2 = 3 \text{ кг}$, массаи оби хунук $m_1 = 2 \text{ кг}$ буда миқдори гармие, ки оби гарм медиҳад $Q_2 = 126000 \text{ Ҷ}$, миқдори гармие, ки оби хунук мегирад $Q_1 = 126000 \text{ Ҷ}$ мебошад.

Аз ин ҷо дида мешавад, ки муодилаи баланси гармӣ дар таҷриба риоя мешавад.

Микдори гармиеро, ки оби хунук гирифтааст бо муодилаи зерин ҳисоб мекунем:

$$Q_1 = cm_1(t_{\text{хунук}} - t)$$

$$m_1 = \rho_{\text{об}} \times V_{\Gamma}; \rho_{\text{об}} = 1000 \text{ кг/м}^3; V_{\Gamma} = 0.002 \text{ м}^3; m_1 = 1000 \text{ кг/м}^3 \times 0.002 \text{ м}^3 = 2 \text{ кг}.$$

$$Q_1 = c_{\text{об}}(t - t_2); c_{\text{об}} = 4200 \frac{\text{Ч}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})}; (t - t_2) = 40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C};$$

$$Q_1 = 4200 \text{ Ч/}(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \times 2 \text{ кг} \times 15^\circ\text{C} = 126000 \text{ Ч}.$$

Натиҷаҳои ҳосилшударо дар ҷадвали 1 дохил мекунем.

Ҷадвали 1.

Массаи оби гарм m_2 , кг	Температу раи аввалаи оби гарм. t_2 , °C	Темпера тураи омехта t , °C	Миқдори гармие, ки оби гарм медихад Q_2 , Ч	Масса и оби хунук m_1	Темпера тураи аввалаи оби хунук t_1 , °C	Миқдори гармие, ки ба оби хунук дода мешавад Q_1 , Ч
3	50	40	126000	2	25	126000

Саволҳои санҷишӣ

1. Гармӣ бо кадом роҳ аз ҷисми гарм ба ҷисми хунук мегузарад?

Шарти асосии гузариши гармӣ аз ҷисми гарм ба ҷисми хунук конвексия мебошад. Раванди мазкур иборат аз он аст, ки гармӣ аз ҳисоби сели моеъ дода мешавад.

2. Муодилаи баланси гармӣ чиро ифода мекунад.

Муодилаи баланси гармӣ, қонуни бақои энергияро ҳангоми мубодилаи гармӣ ифода мекунад, ки дар шакли математикӣ чунин навишта мешавад

$$Q_1 + Q_2 = Q.$$

3. Худ ба худ омехташавии оби хунук ва оби гарм чи гуна суръат мегирад.

Худ ба худ омехташавии оби хунук ва оби гарм ҳамоно вақт тезтар рӯй медиҳад, ки ҳангоми ба оби гарм илова кардани оби хунук, оби гарм ба боло мебарояд ва дар лаҳзаи ҳаракат ҳарду моеъ ба якдигар зуд омехта мешаванд.

Хулоса дар рафти иҷрои кори озмоишии виртуалӣ миқдори гармӣ Q_2 ро муайян кардем, ки оби хунук Q_1 ҳангоми мубодилаи гармӣ қабул

мекунад. Қиматҳои ҳосилшударо муқоиса намуда ба ҳулосае омадем, ки қимати ин бузургӣҳо ба ҳамдигар баробаранд ($Q_1 = Q_2$).

Адабиёт

1. Бутиков, Е.И. Лаборатория компьютерного моделирования / Е.И. Бутиков // Компьютерные инструменты в образовании. - 1999. - №5. - С. 26.
2. Гриншкун, В.В. Образовательные электронные издания и ресурсы: учебно-методическое пособие для студентов педагогических вузов и слушателей системы повышения квалификации работников образования / В.В. Гриншкун, С.Г. Григорьев. - Курск: КГУ, М.: МГПУ, – 2006. – 98 с.
3. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика.
4. Коновалец Л.С. Виртуальный эксперимент с использованием компьютерных моделей / Л.С. Коновалец // Физика – Первое сентября. - 2013. - № 12. - С. 21 - 23.
5. Пирмаҳмад Нуров. Фарҳанги мухтасари русӣ ба тоҷикии истилоҳоти илмҳои дақиқ ва техникӣ. Душанбе 2013. 619 с.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.2.
7. Трофимова Т.И. Курс физики. М. Высшая школа. 2000
8. Олимӣ А.Р. Алимов Н.О. Механика. Физикаи молекулавӣ ва термодинамика. - Данғара, 2022 - 469с.
9. Трофимов, Т. Курси физика. / Т.И. Трофимов. - М: Маркази интишороти «Академия», 2010. -560 с.
10. Трофимова, Т. Курси физика: китоби дарсӣ барои донишгоҳҳо / Т.И. Трофимов. – нашри 11, С – М.: Маркази интишороти «Академия», 2006. – 560 с.
11. Тошбой Бобоев, Фарход Раҳимӣ, Хочазода Тохир, Давлат Солихов, Фарход Истамов. Физика Душанбе 2020 с.222-243.
12. Савельев И.Е. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. – В2-х т. – М.: Наука, 1977. – Т. I. – С. 182-188.

АМСИЛАСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ «МУҚОИСАИ МИҚДОРИ ГАРМӢ ҲАНГОМИ ОМЕХТА КАРДАНИ ОБИ ҲАРОРАТАШОН ГУНОГУН» (ОЗМОИШГОҲИ ВИРТУАЛӢ)

Ғишурда. Мақолаи мазкур ба ҳалли мушкилотҳои таълими физика дар ихтисосҳои илмҳои дақиқи мактабҳои олӣ ва муассисаҳои таҳсилоти умумӣ бахшида шудааст.

Дар мақола тариқи таҷрибаи виртуалӣ муқоиса кардани миқдори гармӣ ҳангоми омехта кардани обҳои ҳарораташон гуногун дида баромада шудааст. Ғайр аз ин дар кори мазкур хусусиятҳои обҳои ҳарораташон гуногун, ки дар онҳо ҳаракати бетартибонаи молекулаҳо ҳангоми баландшавии ҳарорат мушоҳида мешавад, дида баромада шудааст.

Дар гузаронидани ҷенкунии физикӣ, коркард ва пешниҳоди натиҷаҳо малака ва маҳорати амалии хонандагон ва донишҷӯён ташаккул меёбад. Дар гузаронидани ҷенкунии физикӣ, коркард ва пешниҳоди натиҷаҳо малака ва маҳорати амалии донишҷӯён ва хонандагон ташаккул меёбад.

Хулоса дар рафти иҷрои кори озмоишии виртуалӣ мо муайян намудем, ки қонуни муодилаи баланси гармӣ дар таҷриба риоя мешавад.

Калидвожаҳо: компьютер, термодинамика, миқдори гармӣ, температура, обҳо, озмоишгоҳи виртуалӣ, гармкунаки электрикӣ, барнома ва ғайра.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ «СРАВНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ ПРИ СМЕШИВАНИИ ВОДЫ РАЗНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ» (ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ)

Аннотация. Статья посвящена решению проблем преподавания физики на факультетах точных наук в высших учебных заведениях и общеобразовательных учреждениях.

В статье с помощью виртуального эксперимента рассматривается сравнение количества тепла, выделяющегося при смешивании воды разной температуры, также свойства воды при разных температурах, в которой наблюдается хаотическое движение молекул по мере повышения температуры.

В процессе эксперимента студенты развивают практические навыки и умения по проведению физических измерений, обработке и представлению результатов.

В заключение следует отметить, что в ходе виртуальной экспериментальной работы нами установлено, что в данном эксперименте соблюдается закон теплового баланса.

Ключевые слова: компьютер, термодинамика, количество теплоты, температура, вода, виртуальная лаборатория, электронагреватель, программа и т. д.

COMPUTER SIMULATION "COMPARISON OF THE AMOUNT OF HEAT WHEN MIXING WATER OF DIFFERENT TEMPERATURES" (VIRTUAL LABORATORY)

Annotation. The article is devoted to solving the problems of teaching physics at the faculties of exact sciences in HEI and general education institutions.

The article, using a virtual experiment, examines the comparison of the amount of heat released when mixing water of different temperatures, as well as the properties of water at different temperatures, in which chaotic movement of molecules is observed as the temperature increases.

During the experiment, students develop practical experiment and abilities in conducting physical measurements, processing and presenting results.

In conclusion, it should be noted that during the Virtual experimental work, we found that the law of heat balance is observed in this experiment.

Keywords: computer, thermodynamics, amount of heat, temperature, water, Virtual Laboratory, electric heater, program, etc.

Маълумот дар бораи муаллиф:

Олимӣ Ашуралӣ Рамазон – Донишгоҳи давлатии Данғара, номзади илмҳои физикаю математика, дотсенти кафедраи физика. **Суроға:** 735320, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 555-05-09-24. **E-mail:** olimov_19641@mail.ru.

Шодиев Муҳаммад Сайдалиевич – Донишгоҳи давлатии Данғара, Муалими калони кафедраи информатика ва технологияҳои рақамӣ. **Суроға:** 735320,, Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Данғара, кӯчаи Марказӣ, 25. **Телефон:** (+992) 905040403.

Сведения об авторе:

Олими Ашурали Рамазан – Дангаринский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, р. Дангара, ул. Маркази, д. 25. **Телефон:** (+992) 555-05-09-24. **E-mail:** olimov_19641@mail.ru.

Шодиев Муҳаммад Саидалиевич – Дангаринский государственный университет, старший преподаватель кафедры информатики и цифровых технологий. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, н.п. Дангара, улица Маркази, 25. **Телефон:** (+992) 905040403. **E-mail:** olimov_19641@mail.ru.

Information about the author:

Olimi Ashurali Ramazan – Dangara state University, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the department of physics. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, r. Dangara, st. Markazi, 25. **Phone:** (+992) 555-05-09-24. **E-mail:** olimov_19641@mail.ru.

Shodiev Mukhammad Saidalievich – Dangara State University, Senior Lecturer of the Department of Informatics and Digital Technologies. **Address:** 735320, Republic of Tajikistan, Dangara, Markazi Street, 25. **Phone:** (+992) 905040403.

Муқарриз: Умаров А.Н. – н.и.т.,
Донишгоҳи давлатии Данғара

ВЫБОР ЭКСПРЕСС МЕТОДА И ПРИБОРА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО СОЛЕВОГО РАСТВОРА

Шамсуллоев Ш.А.

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

Геологическим фактором, определяющим особенности строительства Рогунской ГЭС, является наличие мощного соляного пласта в основании плотины, проектная высота которой составляет 335 метров. При эксплуатации водохранилища возможно образование фильтрационного потока, способного растворять соль. С целью защиты соляного пласта от размыва и предотвращения связанных с этих деформаций тела плотины, проектом предусмотрены мероприятия по уплотнительной и козырьковой цементации оголовка солевого пласта [1 - 4].

Для укрепления основания плотины и предотвращения фильтрации воды в горные породы закачивают пресную воду и раствор поваренной соли, формируя завесы.

К качеству воды и рассола предъявляются следующие требования [5]:

а) содержание взвешенных веществ должно быть не более 2-3 мг/л.

б) крупность взвешенных частиц в воде и рассоле не должна превышать 25 мкм.

в) вода и рассол не должны содержать растворенные примеси, способные образовывать твердый осадок при взаимодействии с грунтовыми водами.

г) концентрация NaCl в рассоле должна составлять 320 г/л.

В рамках реализации мероприятий по уплотнительной и козырьковой цементации оголовка солевого пласта в основании плотины Рогунской ГЭС, была введена в эксплуатацию временная установка, обеспечивающая приготовление и механическую очистку рассола.

Подача рассола от узла приготовления к левобережному участку для производства цементного раствора осуществляется по стальным трубопроводам. Ввиду высокой коррозионной активности рассола, обусловленной наличием ионов хлора и окислителей, в проект заложена стабилизационная обработка рассола сульфитом натрия с целью ингибирования коррозии.

Целью настоящего исследования является:

- Оценка характеристик рассола, используемого в солевой завесе, и их сопоставление с запланированными значениями.
- Изучение состава и природы отложений, образующихся в трубопроводной системе рассола временной установки.
- Анализ коррозионного воздействия рассола на материал труб.

Исследование посвящено разработке методологических рекомендаций по совершенствованию процессов механической очистки и стабилизации рассола солевой завесы Рогунской ГЭС, а также выбору оптимального метода контроля степени его минерализации.

Описание временной установки. В настоящее время на Рогунской ГЭС действует временная установка по подготовке рассола [5]. Следующая технологическая схема очистки раствора NaCl от механических примесей отличается от рекомендованной (рисунок 1).

Привозная соль поступает в бункер, затем через вибратор в растворомешалку РМ-2000. Рассол перемешивают в течении 1,5 часа.

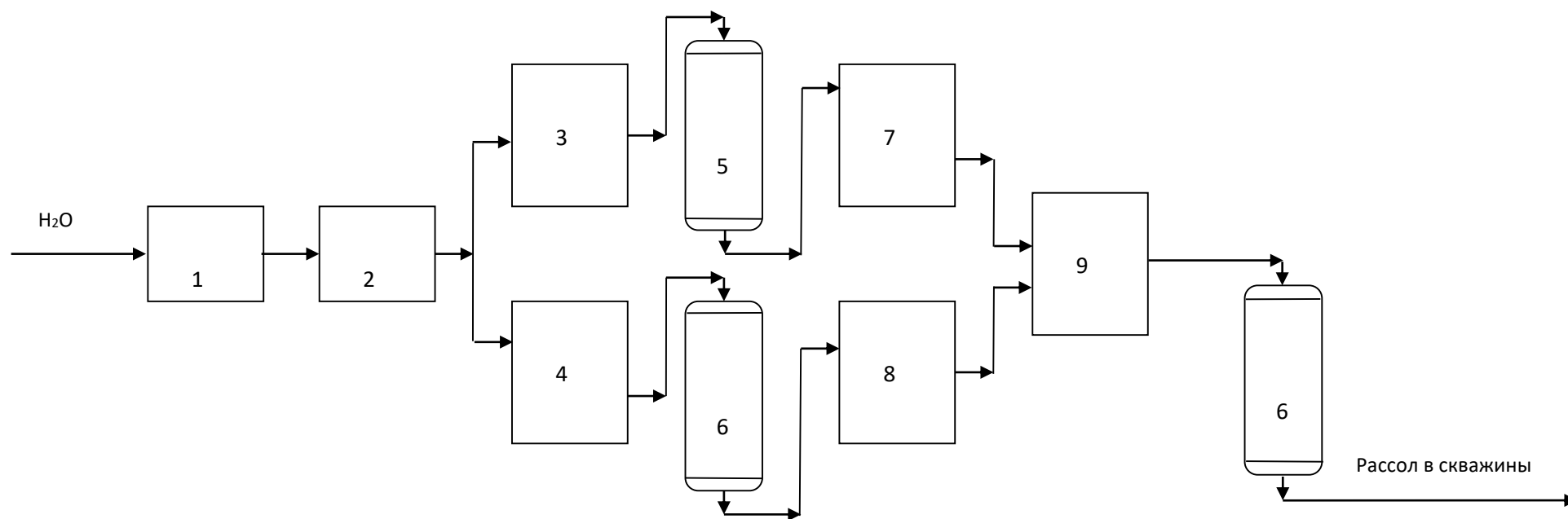


Рис. 1. Схема временной установки для приготовления рассола: 1– растворомешалка; 2– приемный бак; 3– вертикальный отстойник предварительного осветления рассола; 4– вертикальный отстойник предварительного осветления рассола; 5– фильтр типа «Струя»; 6– фильтр типа «Струя»; 7– резервуар осветленного рассола; 8– резервуар осветленного рассола; 9– расходный бак растворного узла (РУ)

Контроль концентрации осуществляется с помощью ареометра и кондуктометрического измерителя. Плотность готового рассола должна быть 1,21.

Из растворомешалки рассол перекачивается в приемный бак $V=100$ м³. Здесь производится корректировка концентрации рассола.

Далее раствор попадает в вертикальные отстойники (2 шт.), предназначенные для предварительной очистки рассола от грубодисперсных примесей и хранения.

Отстойником служит емкость по ТП 704-1-150 С «Стальной вертикальный цилиндрический резервуар для нефти и нефтепродуктов емкостью 200 м³», разрезанная объемом по 100 м³.

Предварительно осветленный рассол по двум трубам подается на фильтры типа «Струя» (2 шт.). Фильтр принят по типовому проекту №901-377. Основные параметры: -диаметр- 1,0 м, площадь 0,79 м² высота слоя воды над загрузкой – 0,9 м.

Загрузка-кварцевый песок крупностью по $d_{\text{ЭКВ}}$ 0,3-0,4 мм. Минимальная крупность – 0,25 мм, максимальная – 1,0 мм.

Сетка медная (1х1) между сетками два слоя стеклоткани, гравий-1 слой.

Осветление происходит по принципу сверху вниз.

Промывка: -продолжительность – 6-8 мин, интенсивность 12-14 л/с на м² расход воды – 4,0-5,0 м³.

Промывка осуществляется обратным током воды снизу-вверх. На промывку фильтра подается питьевая вода из резервуара при помощи насосов. Промывная вода сбрасывается в сай Пассимурахо.

Осветленный рассол (3 мг/л) подается в два накопителя, объемом по 100 м³. Конструкция накопителя и приемного бака не отличается от конструкции вертикального отстойника.

Из накопителей рассол с расходом 15 м³/сут. по трубопроводу длиной около 1750 м подается самотеком на раздаточный узел в расходный бак – 1-1,5 м³. Транспортирующие трубы диаметром 76 мм и 108 мм изготовлены из стали марки БСт2пс.

Коррозия трубопровода приводит к загрязнению рассола взвешенными веществами в процессе транспортировки. Чтобы обеспечить требуемое качество рассола на раздаточном узле, используются напорные фильтры для его доочистки.

Напорный фильтр представляет собой цилиндрическую емкость с двумя днищами. Фильтрующий материал кварцевый песок крупностью $d_{\text{ЭКВ}} = 0,3-0,4$ мм. Минимальная крупность 0,25 мм, максимальная-1,0 мм.

Объем песка-0,04 м³. Сетка стальная № 0,5-1 слой, № 1,0-2 слоя и стеклоткань 3 слоя.

После доочистки рассол подается в скважины с расходом 0,5 л/мин на две скважины.

Исследования качества рассола на временной установке. Для проведения исследований пробы рассола отбирались в следующих точках:

1. Исходный рассол из растворомешалки;
2. Из отстойников предварительного осветления;
3. После фильтра «Струя»;
4. На раздаточном узле до напорных фильтров;
5. После фильтров перед подачей в скважины.

Во всех пробах определяли содержание взвешенных веществ, а в пробах на раздаточном узле-размеры частиц.

Осветление рассола значительно снижает содержание взвешенных веществ. Исходный рассол содержит огромное количество взвешенных веществ – от 3500 до 4000 мг/л. После осветления их концентрация падает до 1,3-2,4 мг/л. Предварительное осветление дает промежуточный результат – 4,5-5 мг/л. Важно отметить, что нарушение технологии (отсутствие соли) приводит к увеличению содержания взвешенных веществ в предварительно осветленном рассоле до 150-600 мг/л.

Исходный рассол, поступающий в распределительную систему, характеризуется содержанием механических примесей в диапазоне 2,3-36 мг/л. Перед инъекцией в скважины проводится очистка рассола, в результате которой концентрация взвешенных веществ снижается до 0,5-2,7 мг/л.

В редких ситуациях, концентрация механических примесей в рассоле, прошедшем фильтрацию на раздаточном узле, достигает критических значений – 6-7 мг/л. Коррозионные процессы в трубопроводной системе являются основным источником загрязнения рассола механическими примесями как на входе в раздаточный узел, так и перед его закачкой в скважины. Регулирование расхода рассола, направляемого в скважины, провоцирует резкие выбросы продуктов коррозии, которые перегружают фильтры и загрязняют скважины.

Результаты анализа показывают, что напорные фильтры эффективно удаляют взвешенные вещества, обеспечивая соответствие рассола установленным требованиям качества.

Для предотвращения коррозии и увеличения срока службы трубопроводной системы, подающей рассол в скважины после напорных фильтров на раздаточном узле, необходимо заменить существующие

стальные трубы на трубы из некорродирующего материала, например, стеклопластика.

Определение размеров частиц в пробах рассола проводили на микроскопе серии «Биолам»: при взбалтывании пробы (табл. 1) и в центрифугированной пробе (табл. 2 и 3).

Таблица 1. Результаты определения размеров частиц на раздаточном узле

Проба до напорных фильтров												
Размер частиц, мкм	2	3	5	7	8	10	12	15	20	25	30	40
Содержание фракций, %	3,7	8,3	32	1,86	1,80	19,2	0,9	7,3	9,2	1,86	1,86	1,86
Проба после напорных фильтров												
Размер частиц, мкм	2	3	5	10	15	20	30	40	50	60		
Содержание фракций, %	2,8	8,3	19,5	35,4	13,0	14,0	3,6	0,8	1,7	0,8		

Средний диаметр частиц в той и другой пробе составляет около 11 мкм.

Таблица 2. Проба рассола до напорного фильтра

±

Размер частиц, мкм	7	10	14	17	18	21	28	35	42	56	70	84	98	112	126	140
Содержание фракций, %	6,0	0,4	48,0	0,8	0,4	3,2	20,5	1,6	12,9	3,2	1,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

□

Средний размер частиц составляет 20,6 мкм.

Таблица 3. Проба рассола после напорного фильтра

Размер частиц, мкм	7	14	17	21	24	28	35	42	56	70	84	98	112
Содержание фракций, %	3,4	47	1,2	6,3	0,4	25,0	0,4	7,2	1,6	3,4	1,6	0,4	1,2

Анализ показал, что средний размер частиц в рассоле составляет 24 мкм, при этом более 40% частиц имеют диаметр свыше 5 мкм. Результаты, полученные методом центрифугирования, обеспечивают наиболее точную оценку распределения частиц по размерам.

Выявленное значительное содержание взвешенных частиц размером более 25 мкм указывает на несоответствие рассола требованиям, предъявляемым к качеству рассолов, используемых для создания солевых завес в скважинах.

Оценка степени минерализации насыщенного солевого раствора. Для определения концентрации водного раствора поваренной соли NaCl в растворном узле (рисунок 2) был применён кондуктометр «NELT» разработанный Давлатшоевым С.К. [6 - 9]. В табл. 4 приведены его технические характеристики.



Рис. 2. Кондуктометр в сборе

Концентрация определяется по УЭП раствора, измеренной индукционным методом [10 - 14]. Область применения кондуктометра: мониторинг минерализации подземных вод; приготовление и использование водно-солевых растворов.

Кондуктометр «NELT» включает в себя погружной зонд для измерения электропроводности и регистратор, отображающий и сохраняющий полученные данные. Связь между зондом и регистратором осуществляется посредством соединительного кабеля, обеспечивающего удаление зонда от регистратора на расстояние до 100 метров.

Предусмотрена возможность калибровки прибора для измерения концентрации различных неагрессивных электролитов.

Таблица 4. Технические характеристики кондуктометра «NELT»

Наименование параметров	Значение параметров
Диапазон измеряемых концентраций	2-300 г/л
Точность измерения концентрации NaCl	± 3 г/л
Температура измеряемого раствора	10-30° С
Точность измерения температуры	$\pm 0,5^{\circ}$ С
Интерфейс погружного зонда	Токовая петля 1-100 мА
Интерфейс регистратора	RS-232
Время измерения	2 с
Потребляемая мощность	1 Вт
Средний срок службы погружного зонда	5 лет
Средний срок службы регистратора	10 лет
Длина информационного кабеля	До 100 м
Масса погружного зонда	850 г
Габариты погружного зонда	301x34 мм
Габариты регистратора	140x100x30 мм
Питание прибора	Встроенное, 12 В

Кондуктометр измеренное значение концентрации выводит на жидкокристаллический индикатор (рисунок 3).

При сравнении кондуктометра «NELT» с ведущими зарубежными аналогами производителей ABB, Hach Lange, Endress Hauser можно сделать следующие выводы:

– комплекты приборов данных компаний для измерения УЭП состоят из датчиков и вторичных приборов. Длина соединительного кабеля у этих приборов меньше 30 м, поскольку аналоговые сигналы, идущие по этому кабелю, чувствительны к наводкам и помехам;

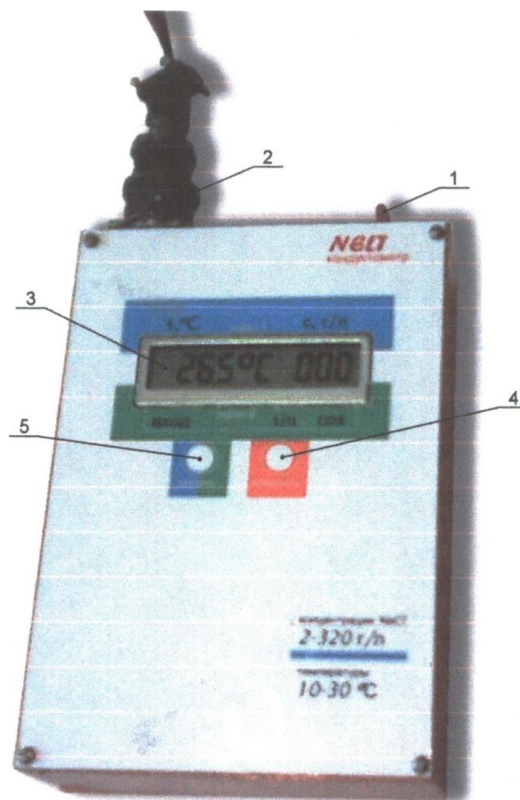


Рис. 3. Кондуктометра «NELT»

– погружной зонд кондуктометра «NELT» является цифровым сенсором и допускает удаление от регистратора на расстояние более 100 м по интерфейсу цифровой токовой петли. Питание зонда и информацию от него использует четырёхжильный телефонный провод ТРП 724, который к тому же служит и силовым тросом;

– питание приборов вышеуказанных компаний обычно осуществляется напряжением 220 или 36 В, при потребляемой мощности более 10 Вт;

– кондуктометр «NELT» питается напряжением 12 В при потребляемой мощности менее 1 Вт.

Прибор может быть калиброван на изменение концентрации любых не агрессивных растворов электролитов.

Выводы

1. Предложенная технологическая схема приготовления солевого раствора, действующая на Рогунской ГЭС, позволяет получать рассол для производства цементного раствора для выполнения противосуффозионного уплотнения и козырьковой цементации оголовка

солевого пласта с содержанием взвешенных веществ не превышающем 3 мг/л, что соответствует требованиям к его качеству.

2. Временная установка не обеспечивает качество рассола по крупности взвешенных веществ, так как рассол после напорных фильтров перед подачей в скважины содержит до 40% частиц размером более 25 мкм.

3. Патронные фильтры марки Ц-5 позволяют улучшить качество готового рассола.

4. Отложения в рассолопроводах временной установки являются продуктами коррозии материала труб.

5. Предложенный метод и прибор кондуктометрического измерения электропроводности насыщенных минерализованных вод позволяет вести измерения, как в растворном узле приготовления насыщенного рассола, так и в составе автоматизированных измерительных комплексов непрерывного контроля за степени насыщенности солевого раствора.

Литература

1. Дополнительные проработки, уточняющие материалы проекта по оценке технико - экономических показателей ГЭС при уменьшении емкости водохранилища. 1079 - Т150 ДП. *Рогунская ГЭС на реке Вахш. Общая пояснительная записка*. Ташкент, 1993, 907 с.
2. Рогунская ГЭС на р. Вахш. Технический проект. Часть 1. Природные условия. Книга 1. *Инженерно – геологические условия. САО Гидропроект*, 1174 - Т15, Ташкент, 1978, 234 с.
3. Рогунская ГЭС на р. Вахш. Технический проект, часть 1, Природные условия. Книга 2. *Инженерно – геологические условия. САО Гидропроект*, 1174 - Т15, Ташкент, 1978, 258 с.
4. Мероприятия по защите пласта соли от размыва. Характеристика пласта соли, залегающего в основании Рогунской плотины. 1174 - 3 - Т41. *Рогунской ГЭС на реке Вахш. Технический проект. Основание плотины*. Ташкент, 1977, 102 с.
5. Анализ качества рассола для солевой завесы в основании Рогунской плотины и выдача рекомендации по улучшению его механической очистки. 1079 – 34 – Т340. –Ташкент: ВНИИ «ВОДГЕО» (Ташкенский филиал), 1989. -26с.
6. *Давлатшоев С.К.* Зонд - кондуктометр NELT. Часть 1. Разработка, изготовления и испытания. Водные ресурсы, энергетика и экология. 2021. Т. 1, № 4. - С. 58-65.
7. *Давлатшоев С.К.* Зонд - кондуктометр NELT. Часть 2. Нахождение концентрационной и температурной зависимости

- электропроводности. Водные ресурсы, энергетика и экология. 2021. Т. 1. № 4. С. 66-73.
8. *Давлатшоев С.К.* Зонд - кондуктометр NELT. Часть 3. Порядок работы, поверки и проверка работоспособности кондуктометра в полевых условиях. Водные ресурсы, энергетика и экология. 2022. Т. 2. № 1. С. 81-86.
 9. *Давлатшоев С.К., Сафаров М.М.* Кондуктометрический способ и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрических сетях. Вестник технологического университета. -Казань, Т. 20, №18, 2017. С.45-51.
 10. *Давлатшоев С.К., Кобулиев З.В., Сафаров М.М.* Исследование диапазона изменения степени минерализации подземных вод в основании плотины Рогунской ГЭС. Вестник Филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. 2020. № 1 (13). С. 58-66.
 11. *Давлатшоев С.К., Сафаров М.М., Кобулиев З.В.* Кондуктометрический способ и устройства для мониторинга гидрогеохимического режима в основании плотины на легкорастворимых породах. Сборник трудов V Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». – СПб.: Университет ИТМО, 2019. –С. 269-281.
 12. *Давлатшоев С.К., Кобулиев З.В., Сафаров М.М.* Кондуктометрический способ и устройства для мониторинга гидрогеохимического режима в основании плотины на легкорастворимых породах. В сборнике: Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ. Сборник трудов V Международной научно-технической конференции. 2019. С. 270-282
 13. *Давлатшоев С.К., Сафаров М.М.* Измерения степени минерализации жидкостей кондуктометрическим способом. Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. 2019. № 2-3 (66). С. 53-57.
 14. *Гарелина С.А., Давлатшоев С.К., Сафаров М.М.* Кондуктометр для контроля гидрогеохимического режима в основании плотины. В сборнике: Общенаучные проблемы подготовки инженерных кадров МЧС РФ. Сборник трудов XXVIII Международной научно-практической конференции. 2018. С. 23-26.

ВЫБОР ЭКСПРЕСС МЕТОДА И ПРИБОРА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВО ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО СОЛЕВОГО РАСТВОРА

Аннотация. Для защиты пласта соли от размыва и предупреждения необратимых деформаций в теле плотины в проекте Рогунской ГЭС предусмотрены мероприятия по уплотнительной и козырьковой цементации оголовки солевого пласта. С целью недопущению контакта оголовка солевого пласта с пресными водами и взаимодействия оголовка солевого пласта водоцементным раствором, цементационный раствор приготавливается насыщенным солевым раствором. В статье рассматривается разработка рекомендации по улучшению механической очистки и стабилизационной обработке рассола и выбор экспресс метода контроля качества приготовления насыщенного солевого раствора.

Ключевые слова: экспресс метод, прибор контроля, солевой раствор, уплотнительная, козырьковая, солевой пласт, цементация, рассол, временная установка, фильтр, кондуктометр.

ИНТИХОБ КАРДАНИ УСУЛИ ЭКСПРЕСС ВА АСБОБИ НАЗОРАТИ СИФАТИ ТАЙЁР КАРДАНИ НАМАКОБИ СЕР

Аннотатсия. Лоиҳаи НБО-и Роғун барои аз эрозия муҳофизат кардани қабати намак ва пешгирии деформатсияи бебозгашт дар бадани сарбанд тадбирҳои фишурдасозӣ ва сементкунонии сарбанди қабати намакро дар бар мегирад. Барои он ки сараки намак ба оби тоза ва таъсири мутақобилаи сараки намак бо маҳлули обию сементи роҳ надихад, маҳлули намакро бо маҳлули намаки сероб омода мекунанд. Дар мақола таҳияи тавсияҳо оид ба беҳтар кардани коркарди механикӣ ва стабилизатсияи намакоб ва интихоби усули экспресси мониторинги сифати тайёр кардани маҳлули намаки тофта баррасӣ карда мешавад.

Калидвожаҳо: усули экспресс, дастгоҳи назоратӣ, маҳлули намак, пломба, визор, намакҳо, сементатсия, намакоб, насби муваққатӣ, филтр, кондуктометр.

SELECTING AN EXPRESS METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING THE QUALITY OF PREPARING A SATURATED SALT SOLUTION

Annotation. To protect the salt formation from erosion and prevent irreversible deformations in the dam body, the Rogun HPP project provides for measures for compaction and visor cementation of the salt formation head. In order to prevent contact of the salt formation head with fresh water and interaction of the salt formation head with water-cement mortar, the cementation mortar is prepared with a saturated salt solution. The article

discusses the development of recommendations for improving mechanical cleaning and stabilization treatment of brine and the choice of an express method for monitoring the quality of preparation of a saturated salt solution.

Keywords: express method, control device, salt solution, compaction, visor, salt formation, cementation, brine, temporary installation, filter, conductometer.

Сведения об авторе:

Шамсуллоев Шодмон Абдуллоевич – соискатель Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана Адрес: Республика Таджикистан, р. Дангара, с. Дангарай боло. **E-mail:** shamsulloev9292@mail.ru.

Маълумот оиди муаллиф:

Шамсуллоев Шодмон Абдуллоевич – унвонҷӯи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, н. Дангара, д. Дангарай боло. **E-mail:** shamsulloev9292@mail.ru.

Information about author:

Shamsulloev Shodmon Abdulloevich - Candidate of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of The National Academy of Sciences of Tajikistan Address: Republic of Tajikistan, Dangara district, Dangarai боло. **E-mail:** shamsulloev9292@mail.ru.

Рецензент: Бобохонов Ф.Ш. – н.и.т.,
Донишгоҳи давлатии Данғара

**ТЕХНОЛОГИЯИ ИСТЕҲСОЛИ ХЛОР ВА ИШҚОР АЗ НАМАКИ ОШӢ
ВА ОҲАКСАНГ БО УСУЛИ ЭЛЕКТРОЛИЗИ НАМАКОБ**

Раҷабов Ш.Х., *Сайдалиев Д.А.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

***Донишгоҳи давлатии Данғара**

Бо сохтмони нерӯгоҳҳои барқии пуриқтидор саноати электрохимиявӣ дар хоҷагии халқ яке аз ҷойҳои намоёнро ишғол мекунад, чунки бо истифода аз усулҳои электрохимиявӣ миқдори зиёди металлҳои тозагиашон баланд ба осони бо усули электрохимиявӣ ҳосил карда мешавад. Дар ҷумҳурии мо бо истифода аз усули электрохимиявӣ яъне электролиз ҳосил кардани содаи каустикӣ манфиатнок мебошад. Чунки ашёи хомӣ асосӣ барои истеҳсоли содаи каустикӣ ин намаки ошӣ ба ҳисоб меравад ва захираҳои он дар ҷумҳурии мо ниҳоят зиёд аст.

Ҳангоми электролизи маҳлули обии намаки ошӣ ба ғайр аз содаи каустикӣ газҳои хлор ва гидроген ҳосил карда мешавад, ки аз гази хлори ҳосил карда шуда баъзе маҳсулотҳои дигар барои хоҷагии халқ истеҳсол карда мешавад. Содаи каустикиро бошад дар соҳаҳои собунпазӣ, истеҳсоли матоъи сунъии шолк, истеҳсоли қоғаз, саноати маҳсулотҳои нафтӣ, соҳаи металлургия, тиб ва дорусозӣ истифода мебаранд. Умуман истеҳсоли содаи каустикӣ дар саноат ду усул ба роҳ монда шудааст. Усули якум ин усули электролиз бо катоди саҳт мебошад. Олимон Глухов Н.Г. ва Вашуков Ф. соли 1879 аввалин маротиба ин усулро пешниҳод намудаанд. Асоси онро электролизи маҳлули обии намаки хлориди натрий, ки ин вақт дар катодсодаи каустикӣ бо гидроген ҳосил шуда, дар анод бошад гази хлор ҷудо мешавад. Дар усули дуюм бошад, дар ванаи катоди симобӣ дошта истеҳсоли ишқор ва хлор гузаронида мешавад. Ин усулро олимон Лидовой А.П. ва Тихомиров В.А. соли 1883 пешниҳод намудаанд. Усули мазкур барои истеҳсоли ишқори натрии тозагаш олий истифода бурда мешавад.

Чуноне ки қайд намудем ашёи хомӣ барои истеҳсоли содаи каустикӣ маҳлулии обии намаки ошӣ ба ҳисоб меравад, лекин он дар таркибаш ғашҳои гуногун дорад. Бинобарин онро пеш аз истифода намудан тоза намуда ва баъд аз он онро барои ҳосил кардани содаи каустикӣ истифода мебаранд. Барои усули электролиз бо катодҳои гуногуни саҳт ё моеъ тайёр кардани электролит яке аз масъалаҳои муҳим ба ҳисоб меравад.

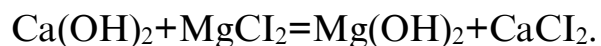
Намаки ош (хлориди натрий) дар об хуб ҳал мешавад, аммо зимни тағйир додани ҳарорат ҳалшавандагии намак каме дигаргун мешавад. Ҳамин тариқ, дар ҳарорати 14°C ҳалшавандагии намак ба 290г/л баробар аст, 20°C – 317г/л, 50°C – 319г/л ва дар ҳарорати 90°C – 326г/л – ро ташкил медиҳад.

Маҳлули обии намаки ош аз ионҳои магний, калсий ва дар аксар маврид аз ионҳои сулфат, ки ба раванди электролиз ҳалал мерасонанд, бояд тоза карда шавад. Миқдори зиёди ионҳои сулфат SO_4^{2-} ба сӯзиши аноди графити оварда мерасонад. Ионҳои калсий, магний, карбонат ва ишқори натрий намакҳои карбонат ва гидроксидҳои ҳалшавандаро ҳосил мекунанд ва онҳо сӯрохиҳои диафрагмаро пур карда гузариши раванди электролизро сушт мегардонанд.

Ионҳои калсий аз маҳлул дар шакли карбонати калсий, ки худ камҳалшаванда аст зимни илова намудани содаи калсиронигардида ҷудо карда мешаванд.

Ионҳои магнийро аз маҳлул бо ёрии гидроксиди натрий ҷудо мекунанд. Дар ин ҳолат, гидроксиди магний, ки худ камҳалшаванда аст, ҳосил мешавад.

Усули таҳшинкунии гидроскиди магний бо ёрии шири оҳакдор низ мавҷуд аст, ки дар натиҷа ионҳои калсий ба маҳлул гузашта гидроксиди магний таҳшин мешавад:



Баъд аз он ки ионҳои магний тақсон шудаанд, бо сода ионҳои калсийро тақсон мекунем. Гидроксидҳои калсий ва магний ҳосилшударо аз сари нав филтр карда, баъдан ба маҳлул барои муътадилшавии барзиёдии ишқор кислотаи хлорид илова мекунанд.

Барои тоза намудан аз аз ионҳо зимни буғронии ишқороб онро аз намаки баргарданда мегузаронанд.

Ифлосҳои ҳалнашавандаро бо усули тақсон намудан ва филтр кардан ҷудо мекунанд. Тоза намудан ва тақсон карданро одатан дар бакҳои чубин ё бетони бо ҳаҷми 100-400 м³ мегузаронанд, андозаи онҳо аз миқёси истеҳсолот вобаста аст.

Дар вақти электролиз намудан бо катоди симоби аз электролите истифода мебаранд, ки дар миқдори NaCl ба 260-270 г/л мебошад. Ин навъи электролит ба намуди намаки саҳти сер дохил мешавад. Чунин маҳлулро бо маҳлули 0,1 моляраи HCl турш мекунанд ва ҳангоми тунук кардан аз дохили он уни хлорид ҳалшударо бартараф мекунанд. Баъди дихлоридонидани вакуумии миқдори хлорид ҳалшуда дар намакоб на зиёда аз 0,15г/л аст. Бо истифода аз насос электролитро ба манора барои вазидани даромадани хлор, ки он ҷо ба воситаи қабати намакоб ҳавои фишурдашударо бод медиҳанд. Баъди иҷрои ин раванд, яъне бо усули

боддиҳии бартараф кардани симоб ва дигар металлҳои дар маҳлул буда, сульфати натрий ва ишқори натриро такшон мекунад. Раванди такшон кардани металлҳо аз 3 то 5 соатро дарбар мегирад. Ба воситаи филтр маҳлулро аз шлам тоза намуда онро ба бак барои сершавӣ равона месозанд, ки он ҷо NaCl такшон мешавад.

То сершавии маҳлул агар консентратсияи омехтаҳои Mg^{2+} , Ca^{2+} ва SO_4^{2-} зиёд бошад, бояд чунин электролитро аз ин омехтаҳо тоза намуд. Мисол ионҳои SO_4^{2-} -ро бо хлориди барий тоза кардан лозим аст.

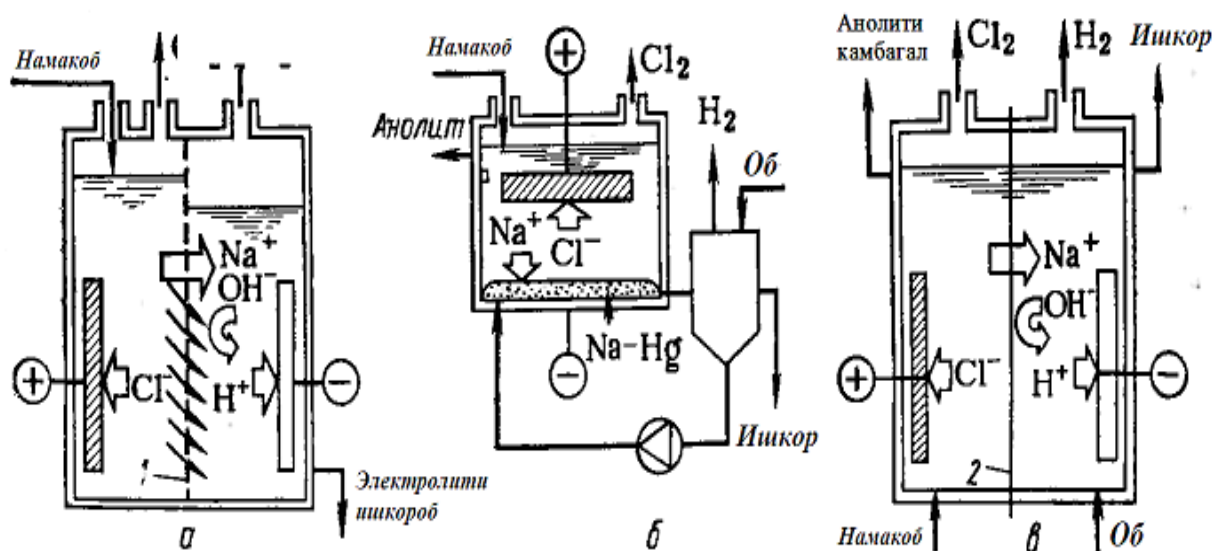
Яке аз аввалин электролизёри бо катода сахтро, ки он электролизери хлори «Грисгейм-электрон» буд, дар саноат истифода бурданд. Ин навъи электролизёрро барои электролиз кардани электролитҳои ноустувор истифода мебаранд.

Бо истифода аз чунин электролизёрҳо масъалаҳои дар он замон будаи раванд ҳал карда мешуданд. Дар баки оҳани ҳаҷмаш $3,8 \times 3,1 \text{ м}$ ва баландиаш $0,87 \text{ м}$ 12 суроҳҳо гузоштанд, ки онҳо басти оҳанини аз дохил бо қабати сементи ҷудошавандаро нишон медиҳанд. Диафрагмаҳои сементиро дар басти девори бак мегузоштанд гузоштаанд.

Электролизёрҳои дар зичии анодии ҷараён 200 А/м^2 , дар фишори 3,7-4,2 В кор кунанда аз рӯи ҷараён 65-70% баромад доранд. Дар ин шароит сарфи энергия 4100-4600 кВт.с дар 1т хлор мебошад. Дар анолит NaClO_3 -ро бо миқдори зиёд пайдо намуданд.

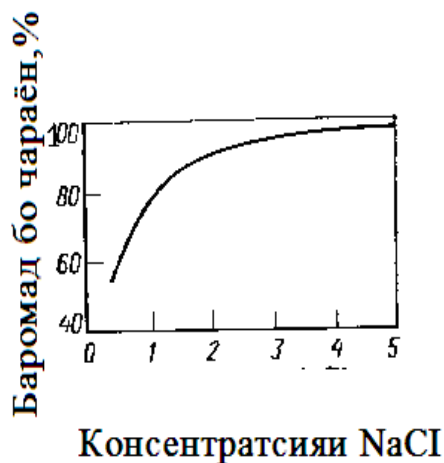
Электролизёрҳо бо электролитҳои обгузар ва диафрагмаи уфуқи

Электролизёрҳо бо электролитҳои обгузар ва диафрагмаи уфуқиро аввалин шуда Сименс–Биллитер истифода бурдааст, ки ин навъи электролизёр бо номи он паҳн шудааст. Конструксияи ин навъи электролизёр аз корпуси росткунҷаи оҳанин бо ҳаҷми $5700 \times 1480 \text{ мм}$ ва бо баландии 345мм дар изоляторҳои шишагӣ ё чини ба шакли уфуқи пайваست карда шудаанд. Дар дохил деворҳои паҳлуии он бо маҳлули семент бо тахтасангҳои сафоли бутабанди карда шудаанд. Дар масофаи 60мм ба рама тури оҳанин бо суроҳиҳои ҳаҷмашон $0,4 \text{ см}^2$ гузошта мешавад. Тур катод буда диафрагмаро нигоҳ медорад, ки бо худ маводи асбестиро нишон дода, қабат аз боло бо омехтаи BaSO_4 ва нахи асбести ғафсиаш 8-10 мм пушида шудааст. Гази гидроген фазаи катодиро пур кардааст, ки он аз катод ба электролизёр ҷори шуда, ишқоробро бо найчаи сифони бо қатрарез медиҳад. Зери тури катод дар масофаи 60мм 26 аноди графити тақсим шудааст, ки тахтаҳои ҳаҷмашон $1000 \times 180 \text{ мм}$ бо ғафсии 50 мм-ро доро мебошанд. Ҳар як анод дутоги меҳвари гирди графити дорад, ки 65 мм ғафс ва 375 мм дароз аст.

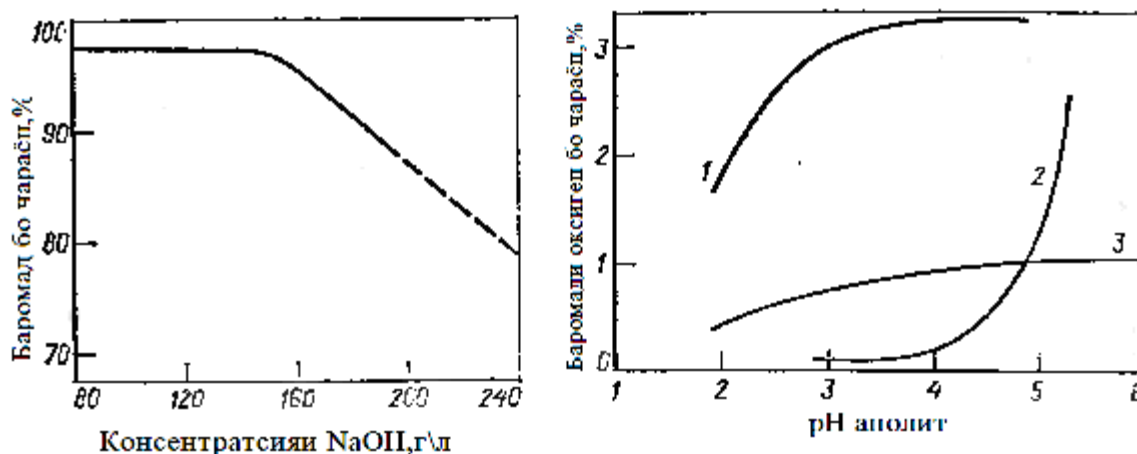


Расми 1. Тарҳи истеҳсоли хлор, ишқор ва гидроген: а - Электролиз бо катодҳои устувор ва диафрагмаи филтронидашуда (1); б – электролиз бо катоди симобӣ; в – электролиз бо мембранаи ионивазиаванда (2).

Электролизери намуди Х-2 бо 1000 А зичии ҷарраёнаш дар катод 700 А/м² бо шиддати 3,5-3,8 В ва ҳарорати намакоб 70-75°C кор мекунад. Таркиби ишқороб чунин мебошад: 100-110 г/л NaOH, 180-195 г/л NaCl ва 0,7-0,8 г/л NaClO₃. гази аноди 93-96%Cl₂ ва 0,8-1,5%CO₂ дораду аз рӯи ҷараён баромадаш 91-95%-ро ташкил медиҳад. Сарфи ҷараёни доими дар 1т 100% NaOH 2750 кВт.с.-ро ташкил медиҳад.



Расми 2.23. Вобастагии баромади хлор бо ҷараён аз консентратсияи хлориди натрий ба баромади намакоб



Чунин электролизёрҳо масоҳати 1,4 м² ишғол мекунамд, дар онҳо мувофиқи конструкция анодҳо асосан аз як тараф кор карда, ҳаҷми калони дохилаи фазаи анодиро сарф намекунамд. Солҳои 1936-1937 барои истифодаи чунин электролизёрон барқароркунии ду силиндри катода бо диаметри хурд, таъминкунамдаи кори дохили анод пешниҳод шуда, буд. Бояд қайд намуд, ки фазаи гирди ду силиндри катодиро, дар ин вақт анолит танҳо пур мекунамд. Кор аз ҳисоби зиёд шудани сатҳи катод то ба 1800А мерасад. Дар ин вақт шиддати кори пешинаро то 3,3-3,4В паст кардан мумкин аст ва силиндри сеюми катодиро низ дар оянда барқарор кардан мумкин аст. Кори электролизёри гирдшакл то дар ин вақт 2000А афзуда, шиддат ба 3,35В, ҳарорат ба 80-85⁰С мерасад. Барои онеки фазои электролизёр бо пурагӣ истифода бурда шавад, дар конструксияи он ба чор катод ду қатор анод байни онҳо гузошта шудааст.

Электролизёрҳои шашкатода, ки бо се қатор анодҳои графити сохта шудаанд, беҳтарин конструкция ба шумор рафта он имконият медиҳад, ки кор бо ҳисоби миёна бо 3800А дар шиддати 3,34В ва бо баромад аз руи ҷараён 95,5% гузарад.

Сохтани электролизёрҳои пуриқтидор дар базаи, электролизёри Х-2 ҳалли масъалаи баробар кардани равандҳои электролизёрҳоро натавонист. Заводҳои хлористехсолкунандаи калонтарини ҳозиразамон ба электролизёрҳои пуриқтидор, ки бо ҷараёни зиёда 25000А ва эҳтиёҷдоранд. Ин навъи электролизёрҳоро асосан бо электродҳои амуди сохта ва чун диафрагмаи насоси ном дошта ҳисоб мекунамд.

Адабиёт

1. Шретер В., Лаутенилгер К.Х., Бибрак Х. Справочник Химии. Химия в алюминиевых деформированных сплавах //– М.: Металлургия, 1976
2. Добаткин В.И., Габидулин Р.М., Колачев Б.А., Макаров Г.С. // Газы и окислы 2000 г.

3. *Ден Зенг, Е. А. Панков* // Лучшее оборудование в России для переработки алюминийсодержащих отходов и опыт его использования на заводе ВМС// Сборник докладов 3-й международной конференции и выставки «Рециклинг алюминия»
4. *Клаус Кроне* //Рециклинг алюминия: от исходного материала до готового сплава. М.: АСТШ, 2003
5. *Леви Л.И.* Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов / *Л.И. Леви.* - М.: Машиностроение, 1970
6. *Макаров Г. С.,* Высокие технологии в рецикленге алюминия: возможности и перспективы. // Сборник докладов 3 международной конференции «Рециклинг Алюминия – 2007».
7. *Непомнящий В.Н.* Основы производства сплавов цветных металлов / *В.Н. Непомнящий.* - Красноярск: ГАЦМиЗ, 2002.
8. *Напалков В.И.* Непрерывное литье алюминиевых сплавов/ *В.И. Напалков* и др. - М.: Интернет, 2005.
9. *Попов Ю.Н., М. Adkins, R. Bauer, M. Burkhardt* // Экономическая эффективность литиевых электролитов с учётом очистки алюминия от лития и других примесей. // Сборник докладов IX Международной Конференции «Алюминий Сибири – 2003»
10. *Худяков И. Ф., Дорошкевич А. П., Карелов С. В.* // Металлургия вторичных цветных сплавов, М. Металлургия, 1987

ТЕХНОЛОГИЯ ИСТЕҲСОЛИ ХЛОР ВА ИШҚОР АЗ НАМАКИ ОШӢ ВА ОҲАКСАНГ БО УСУЛИ ЭЛЕКТРОЛИЗИ НАМАКОБ

Ғишурда. Дар мақолаи мазкур раванди элекиролизи маҳдули обии намаки ошӣ ва ҳосил кардани содаи каустикӣ ва инчунин истифодабарии содаи каустикӣ оварда шудааст.

Ашёи хом барои истеҳсоли содаи каустикӣ маҳдулии обии намаки ошӣ ба ҳисоб меравад, лекин он дар таркибаш ғашҳои гуногун дорад. Бинобарин онро пеш аз истифода намудан тоза намуда ва баъд аз он онро барои ҳосил кардани содаи каустикӣ истифода мебаранд. Барои усули электролиз бо катодҳои гуногуни саҳт ё моеъ тайёр кардани электролит яке аз масъалаҳои муҳим ба ҳисоб меравад.

Калидвожаҳо: катод, электролиз, электролизёр, содаи каустикӣ, концентратсия, электрохимиявӣ, хлориди натрий, газӣ анодӣ.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХЛОРА И ЩЕЛОЧИ ИЗ ПИЩЕВОЙ СОЛИ И ИЗВЕСТНЯКА МЕТОДОМ СОЛЯНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА

Аннотация. В данной статье описан процесс электролиза водного раствора поваренной соли и производства каустической соды, а также применение каустической соды.

Сырьем для производства каустической соды является водный раствор поваренной соли, но он содержит различные вещества. Поэтому перед использованием его очищают, а затем используют для производства каустической соды. Для метода электролиза с различными твердыми или жидкими катодами подготовка электролита является одним из важнейших вопросов.

Ключевые слова: катод, электролиз, электролизер, каустическая сода, концентрирование, электрохимический, хлорид натрия, анодный газ.

TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF CHLORINE AND ALKALI FROM BASIN SALT AND LIMESTOCK BY THE METHOD OF SALT ELECTROLYSIS

Annotation. This article presents the process of electrolysis of an aqueous solution of table salt and the production of caustic soda, as well as the use of caustic soda.

The raw material for the production of caustic soda is an aqueous solution of table salt, but it contains various gases.

Therefore, it is purified before use and then used to produce caustic soda. For the electrolysis method with various solid or liquid cathodes, the preparation of the electrolyte is one of the important issues.

Keywords: cathode, electrolysis, electrolyzer, caustic soda, concentration, electrochemical, sodium chloride, anode gas.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Раҷабов Шӯҳрат Холмуродович - номзади илмҳои техникаӣ, дотсенти кафедраи химияи технологияи факултети химияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Тел.: 555-22-11-85. E-mail: R.Shuhrat.Kh@mail.ru.

Сайдалиев Дилшод Абдулхамидович - муаллими калони кафедраи химияи умумии Донишгоҳи давлатии Данғара. Тел.: 555-05-90-95. E-mail: dilsodsajdaliev994@gmail.ru.

Информация об авторах:

Раджабов Шухрат Холмуродович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологической химии химического факультета Таджикского национального университета. Тел.: 555-22-11-85, E-mail: R.Shuhrat.Kh@mail.ru.

Сайдалиев Дилшод Абдулхамидович – старший преподаватель кафедры общей химии Дангаринского государственного университета. Телефон: 555-05-90-95. E-mail: dilsodsajdaliev994@gmail.ru.

Information about the authors:

Rajabov Shuhrat Kholmurodovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Chemistry, Faculty of Chemistry, Tajik National University. Tel.: 555-22-11-85, E-mail: R.Shuhrat.Kh@mail.ru.

Saidaliev Dilshod Abdulhamidovich - Senior Lecturer, Department of General Chemistry, Dangara State University. Tel.: 555-05-90-95, E-mail: dilsodsajdaliev994@gmail.ru.

Муқарриз: Олимзода Р.А. – н.и.х., дотсенти кафедраи химияи умумии Донишгоҳи давлатии Данғара

**РАФТОРИ КОРРОЗИОНӢ-ЭЛЕКТРОХИМИЯВИИ ХӢЛАИ НОҚИЛИИ
АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi (“алдрей”) БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА
СУРМА ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИИ NaCl**

**Холов Ё.Ч., *Ганиев И.Н., *Чайлоев Ч.Х., *Худойбердизода С.У.,
Махмудзода М.

Донишгоҳи давлатии Данғара

***Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини АМИ Тоҷикистон**

****Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионии АМИ Тоҷикистон**

Муқаддима

Алюминий яке аз металлҳои истифодашавандатарин ба ҳисоб ёфта, солҳои зиёд дар қариб ҳамаи соҳаҳо истифода мешавад. Хӯлаи Алдрей соли 1928 ҳосил карда шуда, мақсади асосии он истеҳсоли симҳо барои хатҳои интиқоли барқ мебошад. Мустаҳкамии симҳо аз хӯлаи алдрей имкон медиҳанд, ки масофа байни сутунҳои хатҳои ҳавоии интиқоли барқро зиёд кунем. Сахтӣ ва мустаҳкамии ҳуби ин хӯла ба кам шудани зарар ва талафоти симҳо ҳангоми монтаж мусоидат мекунад. Алдрей нисбат ба алюминийи тоза ба чараёни кӯтоҳмуддат (короткое замыкание) хубтар тоб меорад. Оғози паст шудани устувории симҳо аз хӯлаи алдрей тақрибан дар ҳароратҳои 180-200° С саар мешавад. Ҳадди ҳастагии вибраториаш бошад нисбат ба алюминий 1,5 маротиба зиёдтар аст. Аз рӯи муқовимати амали дурафш, ки ҳангоми кӯтоҳ кардани симҳо ба вучуд меояд, симҳои (“алдрей”) пас аз симҳои мисӣ дар ҷои дуҷум қарор доранд ва аз симҳои алюминий хеле устувортаранд [1,2].

Дар маҷмӯъ, дар як қатор ҳолатҳо дар электротехника истифодаи алюминийи интиқолдиҳанда бо сабаби қувваи пасти механикии он душвор ва аксар вақт ғайриимкон аст. Алюминийи ноқилии бо деформасияи хунук мустаҳкамшуда дар ҳарорати тақрибан 100° С қувваи худро гум мекунад [3-5].

Алюминий зичии тақрибан сеяки зичии пӯлод ё мисро дорад, ки онро ба яке аз металлҳои сабуктарини тичоратӣ табдил медиҳад. Таносуби баланди қувват ва вазн дар натиҷа онро як маводи муҳими сохторӣ барои зиёд кардани сарборӣ ё сарфаи сӯзишворӣ, аз ҷумла барои соҳаҳои нақлиёт месозад. Ҳангоми сохтани хӯлаҳои ноқилӣ иҷрои талаботи асосии зерин зарур аст. Интиҳоби чунин унсурҳои легиркунанда (ё иловаҳо), ки дар баробари афзоиши хосиятҳои устуворӣ, муқовимати барқии алюминийро кам баланд мебардоранд [1,2]. Иловаҳои хӯла бояд ҳарорати рекристаллизатсияи алюминий ва муқовимати онро аз таъсири ҳарорат баланд бардоранд. Ҷорӣ намудани иловаҳо бояд ба беҳтар кардани хосиятҳои технологияи он равона карда шаванд, масалан намудҳои гуногуни кафшер ва ғайра.

Барои қонё кардани ниезҳои саноати электротехника ҳосил кардани як қатор хӯлаҳо бо беҳтарсозии хосиятҳои устуворӣ, пластикӣ ва интиқоли барқ зарур аст. Дар ин робита, нархи иловаҳои легиркунанда аҳамияти муҳимро дорад [2].

Мақсади гузаронидани ин кор дар таҳқиқи таъсири иловаҳои хурди калсий, кадмий ва сурма ба рафтори анодӣ ва коррозионии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("альдрей") дар муҳити электролити NaCl мебошад [6-11].

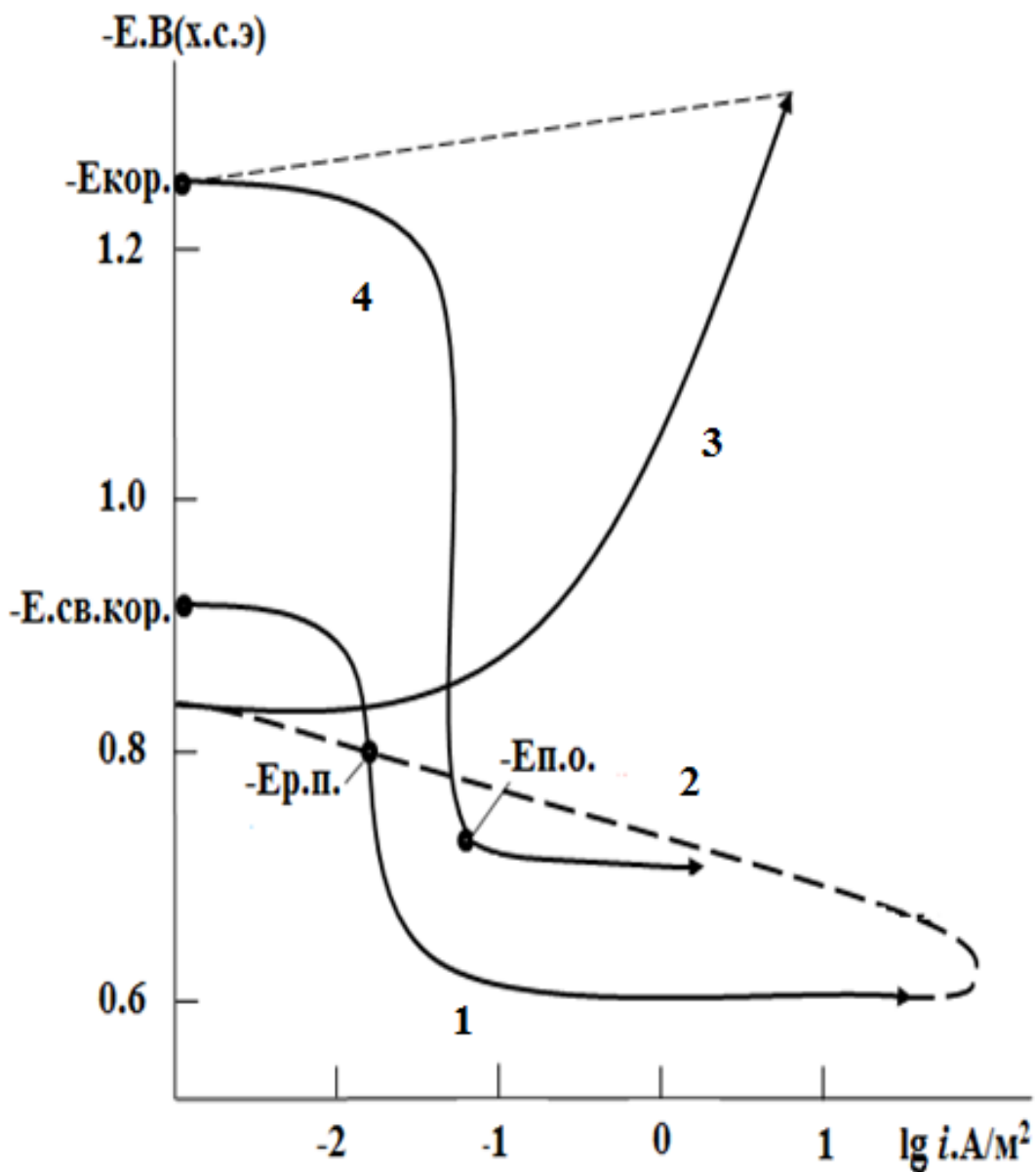
Маводҳо ва усулҳои тадқиқот

Ҳосилкунии хӯлаҳо дар печи лаборатории шахтавии муқовиматии навъи СШОЛ дар ҳарорати 750-800°C гузаронида шуд. Ҳамчун шихта ҳангоми барои ҳосил кардани хӯлаи E-AlMgSi алюминийи тамғаи А6 ГОСТ 110692019, калсийи металлӣ ТУ 083,5,314-94, кадмийи металлӣ ГОСТ 17262,4-78 ва сурмаи металлӣ Cu0 ГОСТ 1089-82 истифода шуданд, ки илова бар ин, бо миқдори муайяни силитсий ва магний легиронӣ карда мешавад. Магнийро ба фолгаи алюминий печонида, бо истифодаи колоколчик ба ғудохтаи алюминий ворид карда шуд. Галлии металлӣ низ бо воситаи печондан ба фолгаи алюминийи ба ғудохта ворид карда шуд. Таҳлили кимиевии хӯлаҳои бадастомада барои миқдори муайян кардани миқдори силитсий ва магний дар озмоишгоҳи марказии корхонаи ГУП "Ширкати алюминийи Тоҷик" гузаронида шуд. Таркиби омехтаҳо инчунин бо вазнашии шихта ва омехтаҳои гирифташуда назорат карда мешуд. Ҳангоми аз 1-2% нисбат ба арзиши ҳисобшуда дур шудани вазни хӯлаҳо ҳосил кардани хӯлаҳо аз нав гузаронида мешуд. Сипас, шлак аз омехта хориҷ карда шуд ва намунаҳо барои тадқиқоти коррозионӣ-электрохимиявӣ ба қолаби графитӣ рехта шуданд. Намунаҳо шакли силиндрӣ диаметри 10 мм ва дарозии 140 мм доштанд. Барои таҳқиқи хосиятҳои электрохимиявӣ қисми охири намунаҳо ҳамчун электроди корӣ истифода мешуд.

Намунаҳои хӯлаи пеш аз тадқиқот бо қоғази наждак, пай дар пай, аз калон то хурд тоза карда шуданд. Ҳамин тариқ, қисми поении намуна, ки ҳамчун электрод хизмат мекунад, бо коркарди механикӣ барои озмоишҳо омода карда шуд. Барои хориҷ кардани оксидҳо аз сатҳи электродҳо ҳангоми навиштани қатъатҳои потенциодинамикӣ поляризатсияи катодӣ иҷро карда мешуд [12-20].

Тадқиқоти электрохимиявии намунаҳо дар потенциостати импулсии ПИ-50-1.1 бо ерии барномасозии ПР-8, ки имконияти сабти автоматиро дар ЛКД-4 дорад, гузаронида шуд. Ҳарорати маҳлул дар сатҳи 25°C доимӣ нигоҳ дошта мешуд ва бо ерии термостати МЛШ-8 назорат карда мешуд. Такрористехсоли натиҷаҳо дар электродҳои як таркиб дар доираи ± 2 мВ буд. Тадқиқоти электрохимиявии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("альдрей"), ки бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронида шудааст, бо усули дар корҳои [10-16] нишон дода шуда, гузаронида шуданд.

Пайдарпаии муфассали гирифтани қачҳои поляризасионии намунаҳо аз хӯлаи алюминийи E-AlMgSi (“альдрей”) бо калсий, кадмий ва сурма дар муҳити электролит 3.0% NaCl дар расми 1 нишон дода шудааст.



Расми 1. Қачхаттаи поляризатсионии анодӣ ва катодии хӯлаи алюминийи e-AlMgSi (“альдрей”), дар муҳити электролити 3% NaCl.

Дар тадқиқоти электрохимиявӣ намунаҳо пас аз ҷойгир шудан ба электролит дар самти мусбат то зичии ҷарраёни 1 a/m^2 поляризатсия карда шуданд, дар натиҷа пitting-хосилшавӣ дида шуд (расм. 1, қачкунии I). Сипас намунаҳо дар самти муқобил поляризатсия карда шуданд (расм. 1, қачҳои II ва III) то потенциали -1.200 В , ки ба ҳал шудани қабати оксидӣ аз сатҳи намунаҳо оварда расонд. Ниҳоят, намунаҳо боз ба самти мусбат поляризатсия карда шуданд, то қачхаттаи поляризатсияи анодии хӯлаҳоро ба даст орем (расм. 1,

каҷкунии IV). Дар расми 1 ҳамаи чор қачҳои потенциодинамикии намунаҳо, ки дар муҳити электролити 3.0% NaCl ҳангоми суръати паҳнкунии потенциали 2 мВ/с гирифта шудаанд, нишон дода шудаанд. Бо хатҳои нуқтадор ҳаракати баръакси қачҳои поляризасионӣ нишон дода шудааст.

Дар рафти гузариши қачхаттаи пурраи поляризасионӣ параметрҳои электрохимиявии зерин муайян карда шуданд:

– $E_{ст.}$ или – $E_{св.кор.}$ – потенциали статсионарӣ ё потенциали коррозияи озод;

– $E_{кор.}$ – потенциали коррозия;

– $E_{п.о.}$ – потенциали питтингҳосилкунӣ;

– $E_{рп.}$ – потенциали репассиватсия;

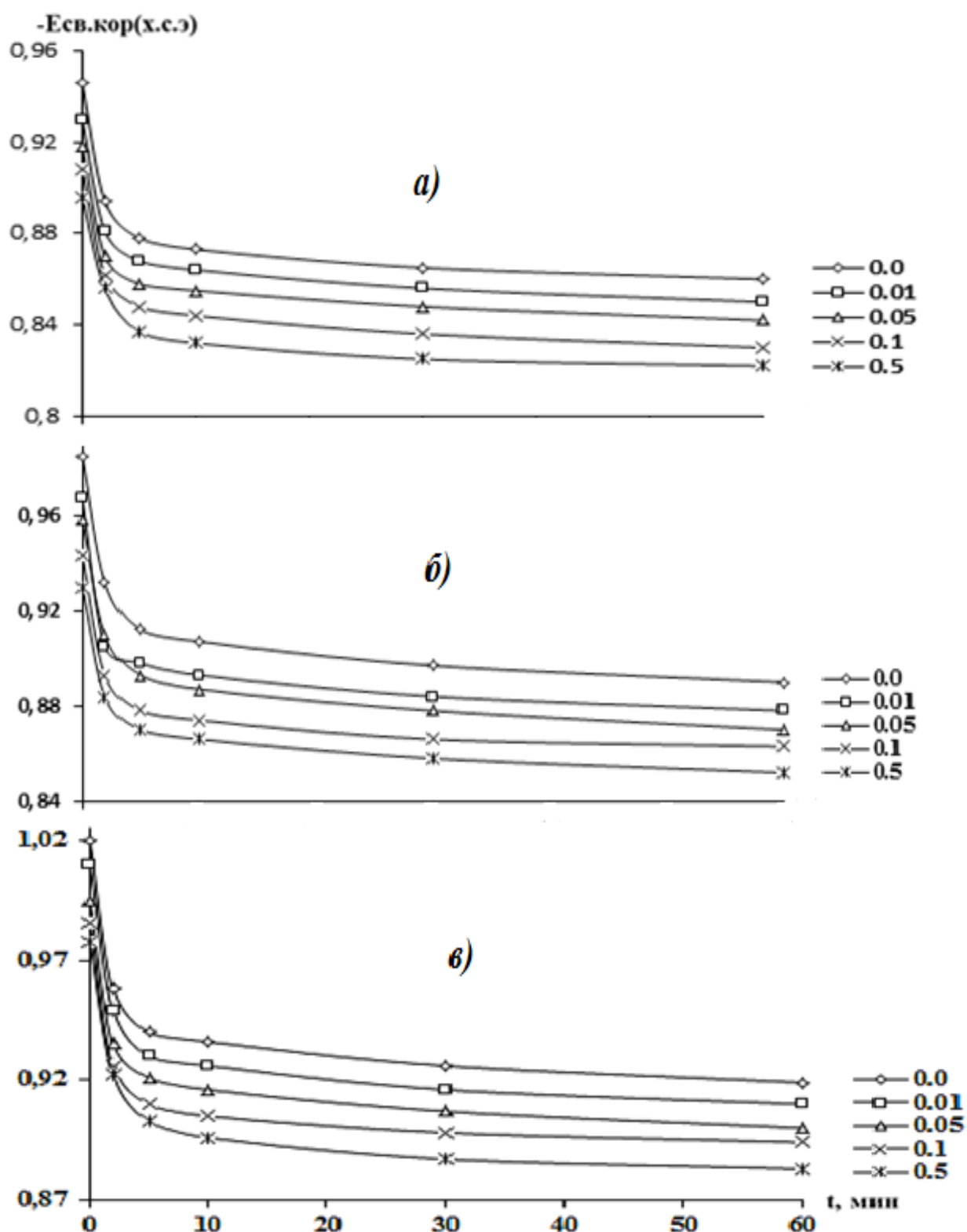
– $i_{кор.}$ – ҷараёни коррозия.

Раванди коррозияи ҳулаи алюминийи E-AlMgSi (“альдрей”) бо реаксияи катодии ионизатсияи оксиген дар муҳити бетараф назорат карда мешуд, бинобар ин ҷараёни коррозияи он бо назардошти константаи тафел ($b_k=0.12$ В) аз шохҳои катодии қачҳои потенциодинамикӣ ҳисоб карда мешуд.

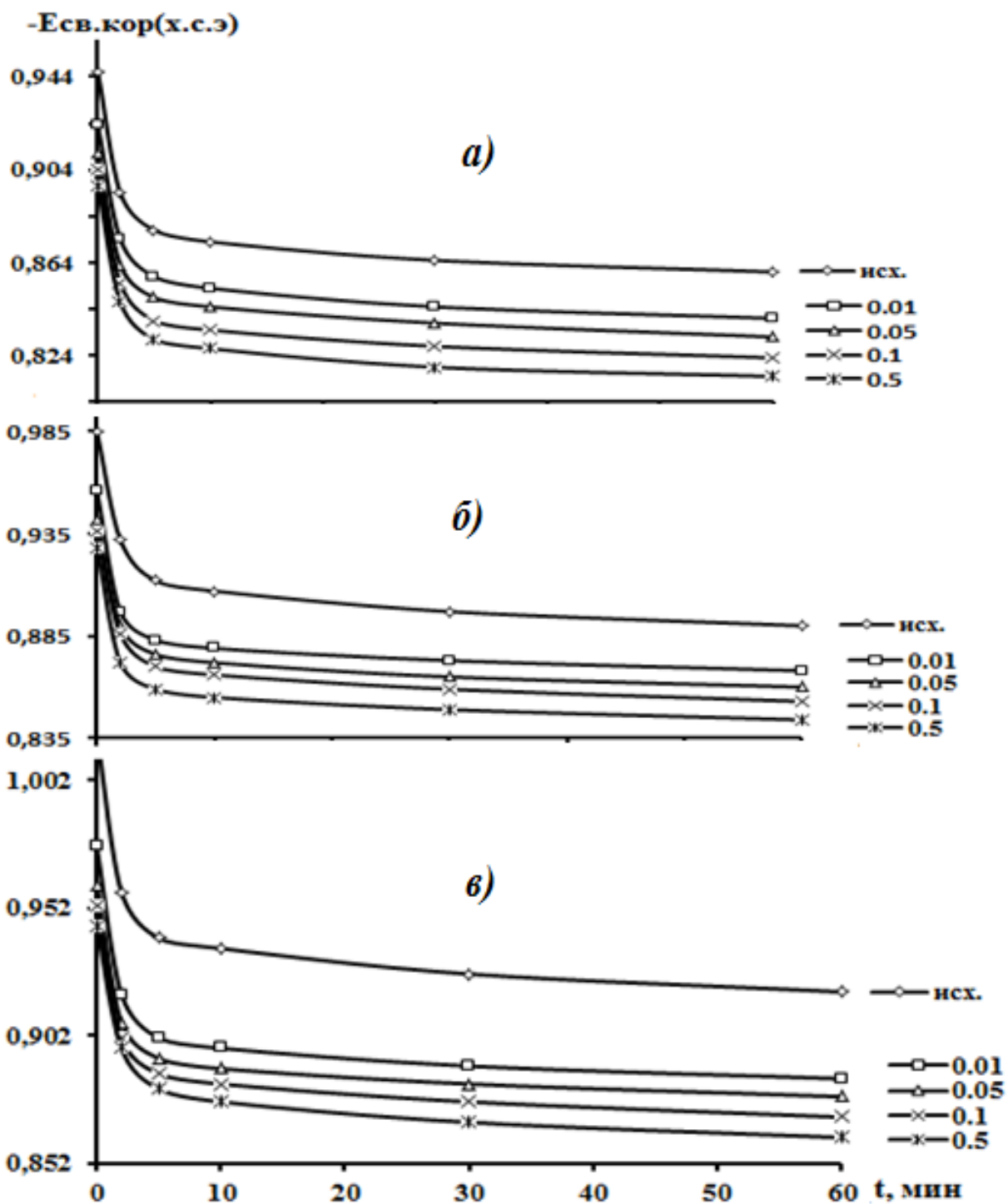
Натиҷаҳои ба даст омада ва муҳокимаи онҳо

Тадқиқоти рафтори коррозионӣ-электрохимиявии ҳулаи алюминийи e-AlMgSi (“альдрей”) бо калсий, кадмий ва сурма тибқи тавсияҳои ГОСТ 9.017-74 дар муҳити электролити 3% NaCl ҳамчун муҳити ба баҳрӣ монанд гузаронида шуд.

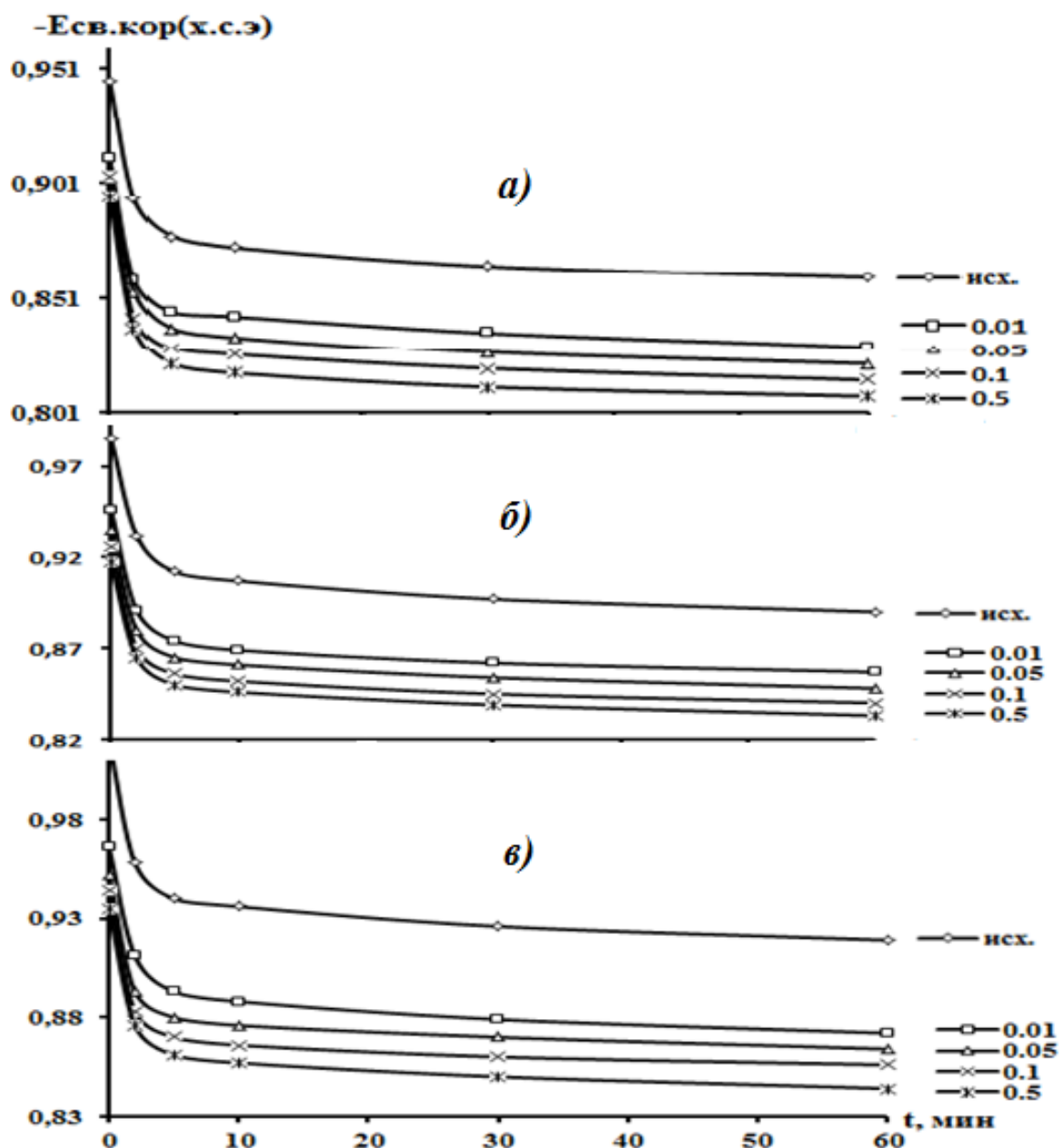
Натиҷаҳои таҳқиқи потенциали коррозияи озоди ҳулаи алюминийи E-AlMgSi (“альдрей”) бо калсий, кадмий ва сурма, дар се муҳити электролити NaCl дар расмҳои 3, 4 ва 5 оварда шудаанд. Тавре ки мебинед, аз вақт ва миқдори барӣ дар ҳулаи ибтидоӣ ба минтақаи арзишҳои мусбати бузургии потенциали зангзании озоди ҳулаҳо кӯчидан мушоҳида мешавад. Бо афзоиши консентратсияи иони хлорид дар электролити NaCl, миқдори коррозияи озод кам мешавад.



Расми 3. Вобастагии вақтии потенциали коррозияи озоди ($-E_{св.кор}$, В) ҳулаи ноқилии алюминийи $E-AlMgSi$ бо иловаи калсий, % вазн: 0.01; 0.05; 0.1; 0.5, дар муҳити электролитии 0,03% (а); 0,3% (б) ва 3% (в) $NaCl$



Расми 4. Вобастагии вақтии потенциали коррозияи озоди ($-E_{\text{св.кор.}}$, В) ҳулаи ноқилии алюминийи $E\text{-AlMgSi}$ бо иловаи кадмий, % вазн: 0.01; 0.05; 0.1; 0.5, дар муҳити электролитии 0,03% (а); 0,3% (б) ва 3% (в) NaCl



Расми 5. Вобастагии вақтии потенциали коррозияи озод ($-E_{св.кор.}$, В) барои хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi, бо иловаҳои сурма, % вазн: 0.01; 0.05; 0.1; 0.5, дар муҳити электролитии 0,03% (а); 0,3% (б) ва 3% (в) NaCl

Нишондодҳои электрохимиявии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) бо калсий, кадмий ва сурма дар муҳити электролити NaCl бо консентратсияи 0.03; 0.3 ва 3.0 % вазн, дар ҷадвалҳои 1, 2 ва 3 оварда шудаанд. Тавре, ки мебинед, бо афзоиши миқдори элементҳои легиркунанда ба хӯлаи алюминийи E-AlMgSi потенциалҳои коррозия, пिटтингҳосилкунӣ ва репассиватсия ба минтақаи мусбати арзишҳо мегузаранд. Илова кардани калсий, кадмий ва сурма ба хӯлаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) муқовимати онро ба коррозия ба 10-15% зиёд мекунад (расмҳои 6, 7 ва 8).

Афзоиши миқдори иони хлорид дар маҳлул ба коҳиши потенциали асосии электрохимиявӣ ва афзоиши зичии ҷараён ва суръати коррозияи ҳулаҳо мусоидат мекунад (ҷадвали 1, 2 ва 3).

Ҷадвали 1. Хусусиятҳои коррозияи электрохимиявӣ ҳулаи алюминийи $e-AlMgSi$ бо калсий, дар муҳити электролити $NaCl$

Муҳити $NaCl$, %вазн	Миқдори Ca дар ҳула, % вазн	Потенциали электрохимиявӣ, В (х.с.э.)				Суръати коррозия	
		$-E_{св.кор.}$	$-E_{кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{рп.}$	$i_{кор.} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·соат
0.03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0.01	0,850	1,088	0,590	0,715	0,046	15,41
	0.05	0,842	1,072	0,578	0,715	0,044	14,74
	0.1	0,830	1,055	0,566	0,710	0,041	13,73
	0.5	0,822	1,040	0,552	0,707	0,039	13,06
0.3	-	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0.01	0,878	1,169	0,664	0,760	0,064	21,44
	0.05	0,870	1,152	0,656	0,754	0,061	20,43
	0.1	0,863	1,137	0,647	0,750	0,058	19,43
	0.5	0,852	1,124	0,640	0,750	0,055	18,42
3.0	-	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0.01	0,910	1,230	0,724	0,785	0,079	26,46
	0.05	0,900	1,228	0,718	0,780	0,076	25,46
	0.1	0,894	1,216	0,710	0,780	0,074	24,71
	0.5	0,883	1,205	0,700	0,770	0,072	24,12

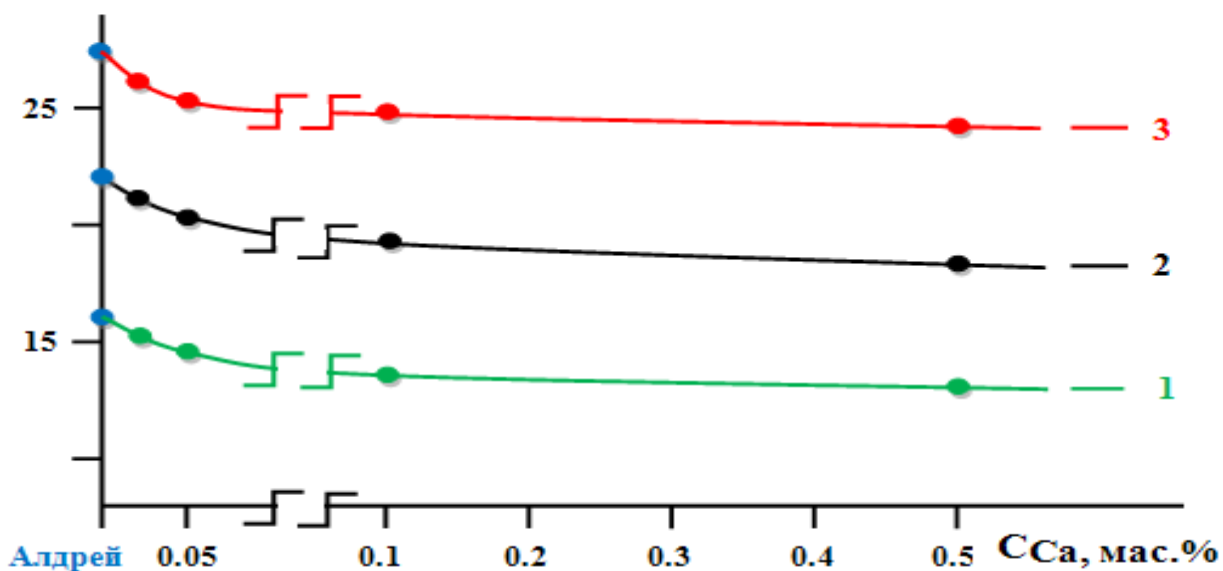
Ҷадвали 2. Хусусиятҳои коррозияи электрохимиявӣ ҳулаи алюминийи $e-AlMgSi$ (“алдрей”) бо кадмий, дар муҳити электролити $NaCl$

Муҳити $NaCl$, %вазн	Миқдори Cd дар ҳула, % вазн	Потенциали электрохимиявӣ, В (х.с.э.)				Суръати коррозия	
		$-E_{св.кор.}$	$-E_{кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{рп.}$	$-E_{св.кор.}$	$-E_{кор.}$
0.03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0.01	0,840	1,078	0,584	0,708	0,044	14,74
	0.05	0,832	1,065	0,572	0,700	0,041	13,73
	0.1	0,823	1,049	0,560	0,695	0,039	13,06
	0.5	0,815	1,036	0,547	0,695	0,037	12,40
0.3	-	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0.01	0,868	1,160	0,658	0,752	0,062	20,77
	0.05	0,860	1,146	0,646	0,747	0,059	19,76
	0.1	0,853	1,130	0,638	0,747	0,056	18,76
	0.5	0,844	1,117	0,630	0,740	0,053	17,75
3.0	-	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0.01	0,885	1,220	0,716	0,776	0,077	25,79
	0.05	0,878	1,213	0,708	0,776	0,075	25,12
	0.1	0,870	1,200	0,700	0,770	0,073	24,45
	0.5	0,862	1,192	0,692	0,764	0,070	23,45

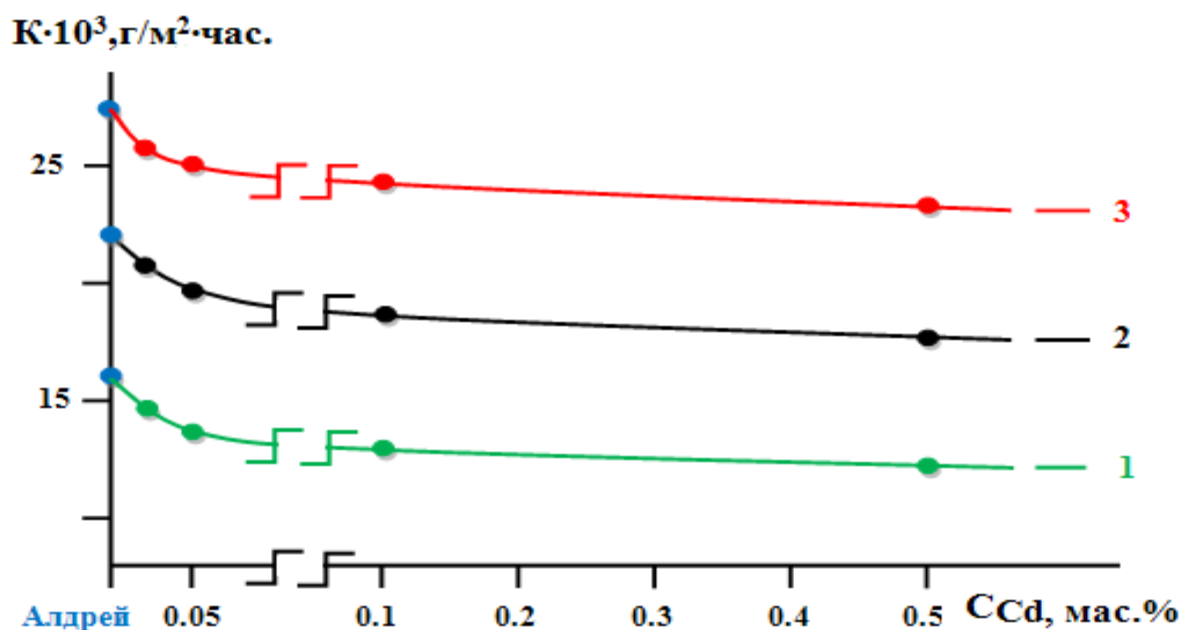
Ҷадвали 3. Хусусиятҳои коррозияи-электрохимиявии хӯлаи алюминийи *e-AlMgSi* (“алдрей”) бо сурма, дар муҳити электролити *NaCl*

Муҳити <i>NaCl</i> , %вазн	Миқдори Sb дар хӯла, % вазн	Потенциалҳои электрохимиявӣ, В (х.с.э.)				Суръати коррозия	
		- <i>E</i> _{св.кор.}	- <i>E</i> _{кор.}	- <i>E</i> _{п.о.}	- <i>E</i> _{рп.}	- <i>E</i> _{св.кор.}	- <i>E</i> _{кор.}
0.03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0.01	0,872	1,210	0,709	0,768	0,043	14,40
	0.05	0,864	1,201	0,698	0,760	0,040	13,40
	0.1	0,856	1,190	0,686	0,757	0,038	12,73
	0.5	0,844	1,178	0,677	0,750	0,035	11,72
0.3	-	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0.01	0,857	1,152	0,650	0,746	0,061	20,43
	0.05	0,848	1,136	0,635	0,740	0,058	19,43
	0.1	0,840	1,122	0,626	0,740	0,055	18,42
	0.5	0,833	1,114	0,616	0,734	0,052	17,42
3.0	-	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0.01	0,872	1,210	0,709	0,768	0,076	25,46
	0.05	0,864	1,201	0,698	0,760	0,074	24,79
	0.1	0,856	1,190	0,686	0,757	0,072	24,12
	0.5	0,844	1,178	0,677	0,750	0,069	23,11

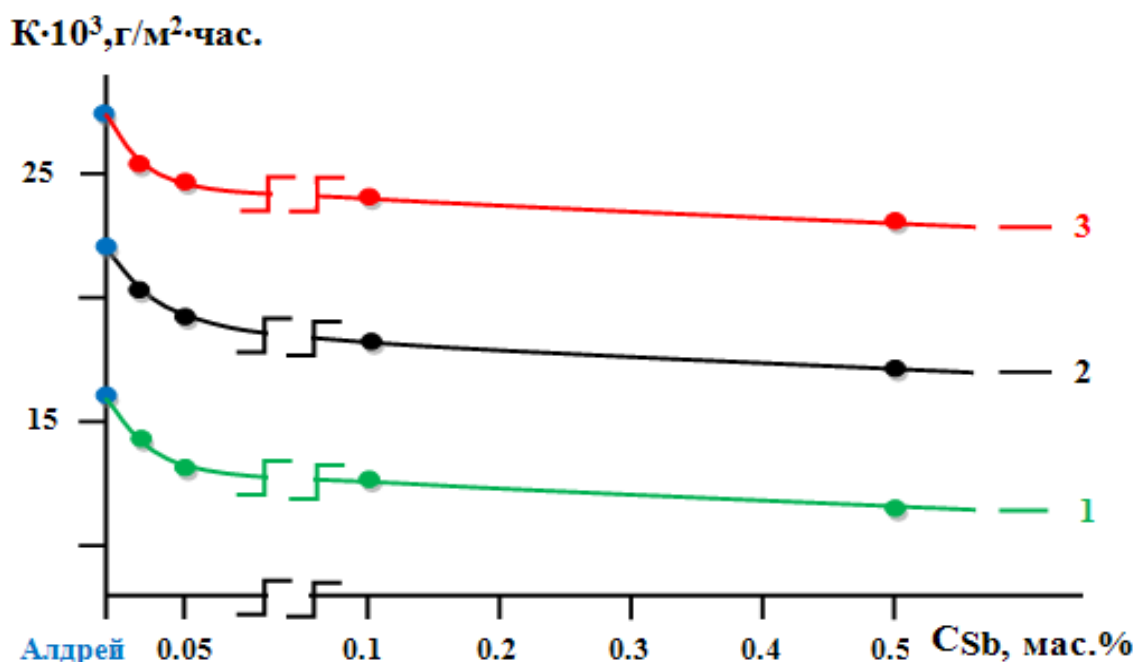
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{час.}$



Расми 6. Вобастагии суръати зангзании хӯлаи алюминийи *e-AlMgSi* (“алдрей”) аз миқдори калсий, дар муҳити электролити 0,03% (1); 0,3% (2) ва 3,0% (3) *NaCl*



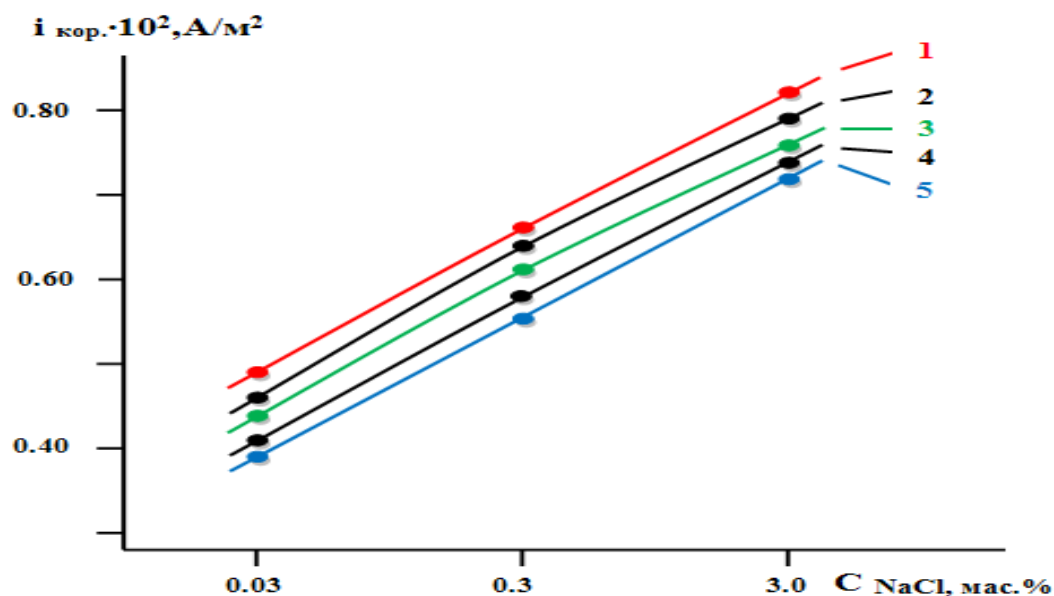
Расми 7. Вобастагии суръати коррозияи хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) аз миқдори кадмий, дар муҳити электролити 0,03% (1); 0,3% (2) ва 3.0% (3) NaCl



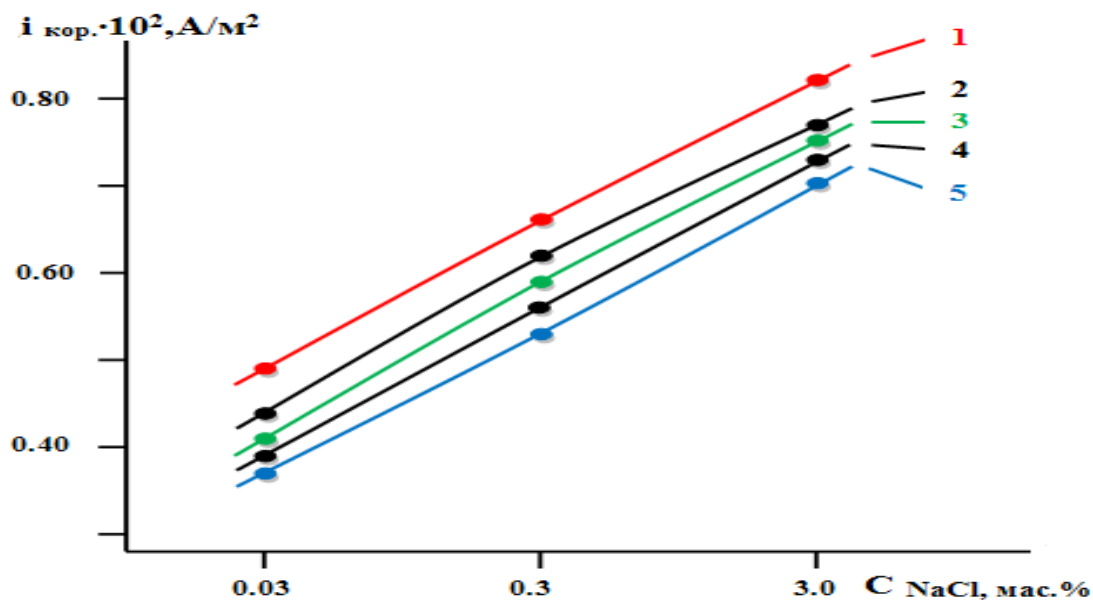
Расми 8. Вобастагии коррозияи хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) аз миқдори сурма, дар муҳити электролити 0,03% (1); 0,3% (2) ва 3.0% (3) NaCl

Вобастагии зичии ҷараёни коррозияи хӯлаи алюминийи e-AlMgSi (“алдрей”) бо калсий, кадмий ва сурм аз концентратсияи NaCl дар расмҳои 9, 10 ва 11 нишон дода шудааст. Легиркунии калсий, кадмий ва сурма зичии ҷараёни коррозияи хӯлаи ибтидоиро коҳиш медиҳад. Бо афзоиши концентратсияи хлорид-ион дар электролити NaCl, зичии ҷараёни коррозияи

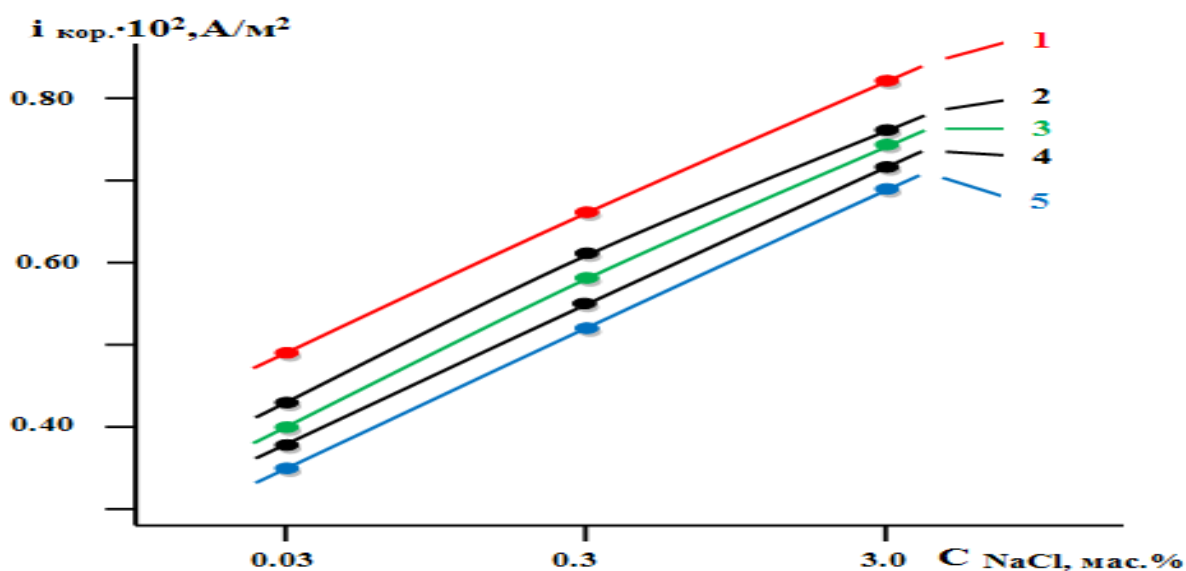
хӯлаҳо новобаста аз миқдори калсий, кадмий ва сурма дар онҳо, афзоиш меёбад.



Расми 9. Вобастагии зичии ҷараёни коррозияи хӯлаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) (1), ки бо калсий, % вазн: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5) аз консентратсияи NaCl

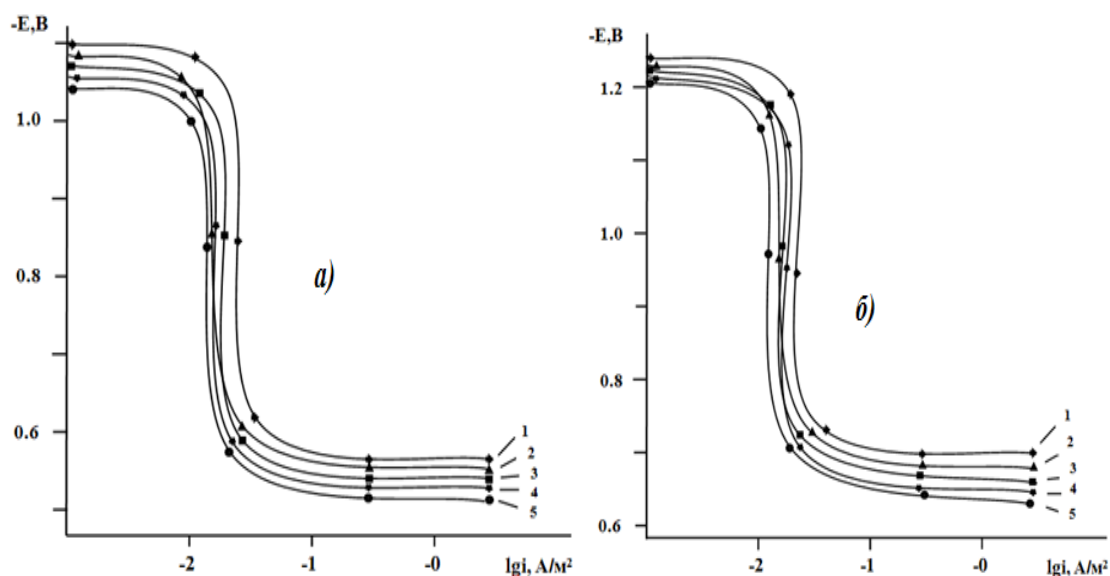


Расми 10. Вобастагии зичии ҷараёни коррозияи хӯлаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) (1), ки дорои кадмий мебошад, % вазн: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5), аз консентратсияи NaCl

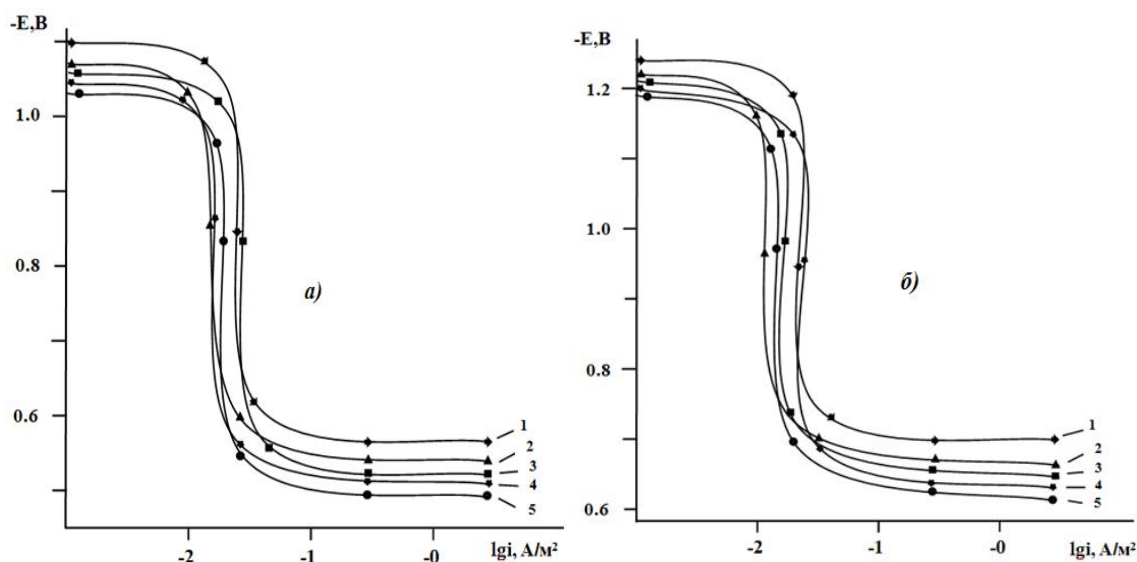


Расми 11. Вобастагии зичии ҷараёни коррозияи хӯлаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) (1), бо сурма, % вазн: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5), аз консентратсияи NaCl

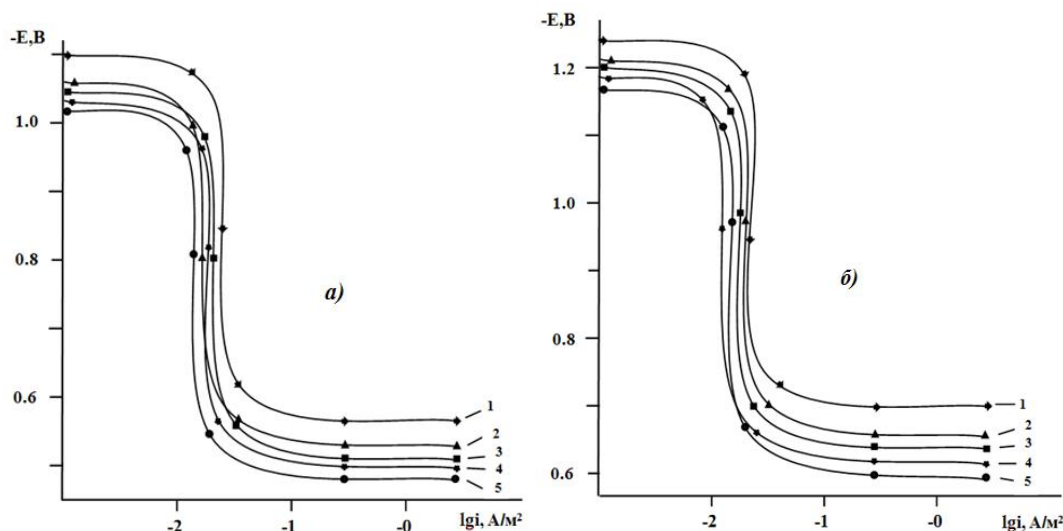
Дар расмҳои 12, 13 ва 14 шохаҳои анодии қачҳои потенциодинамикии хӯлаи тадқиқшуда нишон дода шудаанд. Дида мешавад, ки зичии ҷараёни коррозияи хӯлаи ибтидоӣ бо афзоиши консентратсияи калсий, кадмий ва сурма дар он кам мешавад ва потенциалҳои коррозияи озод (Е_{св.кор.}) ва питтингҳосилшавӣ (Е_{п.о.}) дар ин ҳолат ба минтақаи мусбати арзишҳо мегузаранд.



Расми 12. Қачхаттаҳои анодии поляризационии (2мВ / с) хӯлаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) (1), бо калсий, % вазн: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5), дар муҳити электролити 0.03% (а) ва 3% (б) NaCl



Расми 13. Қаҷхаттаҳои анодии поляризационии (2мв / с) ҳулаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) (1), бо кадмий, % вазн: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5), дар муҳити электролит 0.03% (а) ва 3% (б) NaCl



Расми 14. Қаҷхаттаҳои анодии поляризационии (2мв / с) ҳулаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) (1), бо сурма, % вазн: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5), дар муҳити электролитии 0.03% (а) ва 3% (б) NaCl

Хулосаҳо

Омӯзиши рафтори коррозионӣ-электрохимиявии ҳулаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) бо калсий, кадмий ва сурма, дар муҳити электролити NaCl нишон дод, ки иловаи метали легиркунанда то 0.5 % вазн новобаста аз таркиби электролит NaCl суръати зангзании ҳулаи ибтидоиро 10-15% коҳиш медиҳад.

Таҳқиқи таъсири хлорид-ион ба хусусиятҳои электрохимиявии ҳулаи алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) бо калсий, кадмий ва сурма нишон дод, ки коҳиши консентратсияи хлорид-ион дар электролити NaCl 100 маротиба ба коҳиши суръати зангзании ҳулаҳо 75% ва гузариши потенциалҳои электродӣ ба минтақаи мусбати арзишҳо мусоидат мекунад.

Адабиёт

1. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. / В.И. Макарова, Г.Г. Мухин. и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 648 с.
2. Семёнов А.П. Антифрикционные материалы: опыт применения и перспективы. Трение и смазка в машинах и механизмах. Машиностроение – 2007. №12. С. 21-36.
3. Ganiev I.N. E-AlMgSi (aldrey) aluminum conductive alloy with the solid state cadmium oxidation kinetics / E.J. Kholov, J.H. Jayloev, N.I. Ganieva, V.Dz. Abulkhaev. // Modern Electronic Materials. 2022. Т. 8. № 2. С. 79-83.
4. Бешевли О.Б. Особенности теплового состояния баббитов при механической обработке. Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика. / Т.А. Дуюн. // Сборник трудов Всероссийского совещания заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 29-34.
5. Khudoyberdizoda S.U., Potentiodynamic study of lead-antimony alloy, doped with copper, in the medium of electrolyte NaCl / I.N. Ganiev, N.M. Mulloeva, B.B. Eshov, J.Kh. Jailoyev, U.Sh. Yakubov. // Vestnik Tadjikskogo Natsional'nogo Universiteta. Seriya estestvennykh nauk bulletin of the tajik national university. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2019. № 1. С. 206.
6. Потехин Б.А. Влияние способов литья на структуру и свойства оловянного баббита / В.В. Илюшин, А.С. Христюбов. // МиТОМ. 2009, №8. С. 16-21.
7. Джайлоев Дж.Х. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 с кальцием / И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Х.Х. Азимов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2018. №4. С. 214-220.
8. Худойбердизода С.У. Влияние теллура на кинетику окисления свинцово-сурьмяного сплава ССуЗ, в твёрдом состоянии / И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов, Н.М. Муллоева, У.Ш. Якубов. // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2020. № 3. С. 181-189.
9. Никольский К.К. Защита от коррозии металлических кабелей. – М.: Связь, 1970. 170 с.
10. Ганиев И.Н. Анодное поведение железоалюминиевого сплава АЖ2.18, легированного церием, празеодимом и неодимом, в водном

растворе NaCl / *Н.Р. Эсанов, А.Х. Хакимов, Т.М. Умарова.* // Коррозия: материалы, защита. 2022. №3. С. 10-15.

11. *Ганиев И.Н.* Анодное поведение алюминиевого сплава AlMg5,5Li2,1Zr0,15 типа дюралюмин, со стронцием в среде водного раствора NaCl / *Ф.Р. Саидова, С.У. Худойбердизода, Д.Х. Джайлоев.* // Гальванотехника и обработка поверхности. 2024. Т. 32. № 1-2. С. 13-19.
12. *Ганиев И.Н.* Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин с лантаном в среде водного раствора NaCl / *С.С. Савдуллоева, С.У. Худойбердизода, Дж.Х. Джайлоев.* // Практика противокоррозионной защиты. 2024. Т. 29. № 3. С. 41-49.
13. *Якубов У.Ш.,* Влияние добавок цинка на потенциал свободной коррозии сплава $SSuZ$, в среде электролита 3%-ного NaCl / *М.С. Аминбекова, С.У. Худойбердизода.* // Вестник современных исследований. 2017. № 8-1 (11). С. 59-62.
14. *Mahmudzoda, M.* Anodic Behavior of AK7 Aluminum Alloy and Composite Material of the Al–Al₂O₃ System within an NaCl Electrolyte Solution Medium / *M. Mahmudzoda, B. B. Eshov, J. H. Dzhailev* // Metallurgist. – 2024. – Vol. 67, No. 9-10. – P. 1466-1472.
15. *Ганиев И.Н.* Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с кадмием в растворе NaCl / *Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева, Х.М. Ходжаназаров, Е.Дж. Холов, И.Т. Амонзода.* // Практика противокоррозионной защиты. 2023. Т. 28. № 4. С. 22-29.
16. *Ганиев И.Н.* Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с кальцием, кадмием и сурьмой в твердом состоянии / *Дж.Х. Джайлоев, Х.М. Ходжаназаров, Е.Дж. Холов.* // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2024. № 2. С. 72-85.
17. *Ганиев И.Н.* Анодное поведение алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 легированного кальцием в среде электролита NaCl / *Ф.Р. Саидова, С.У. Худойбердизода, С.С. Савдуллоева, Дж.Х. Джайлоев, В.Д. Абулхаев.* // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2023. № 65 (91). С. 37-41.

18. *Фрейман Л.И.* Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. / *В.А. Макаров, И.Е. Брыксин. Л.:* Химия Ленинград отд. 1972. **238 с.**
19. *Ганиев И.Н.* Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава $Am4.5Mg1$ типа дуралюмин с лантаном в среде водного раствора $NaCl$ / *М.М. Саидов, У.Н. Файзуллоев, С.У. Худойбердизода.* // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 1 (161). С. 23-33.
20. *Махмудзода, М.* Анодное поведение алюминиевого сплава АК7 и композиционного материала системы $Al-Al_2O_3$ в среде раствора электролита $NaCl$ / *М. Махмудзода, Б. Б. Эшов, Д. Х. Джайлоев* // Металлург. – 2023. – № 10. – С. 39-42.

РАФТОРИ КОРРОЗИОНЌ-ЭЛЕКТРОХИМИЯВИИ ХЎЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi (“АЛДРЕЙ”) БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИИ NaCl

Ғишурда. Дар мақола натиҷаҳои омӯзиши таъсири иловаҳои калсий, кадмий ва сурма (0.01 - 0.5 % массавӣ) ба рафтори анодии ҳӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi ("альдрей"), дар муҳити электролити $NaCl$ оварда шудаанд. Тадқиқотҳо бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати паҳнкунии потенциал 2 мВ/с гузаронида шудаанд.

Тадқиқотҳо нишон доданд, ки бо гузашти вақт, потенциали коррозияи озоди ҳӯлаҳо ба тарафи мусбат мегузарад ва бо афзоиши концентратсияи ҳӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("альдрей") аҳамияти мусбат пайдо мекунад. Иловаи калсий, кадмий ва сурма ба ҳӯлаи алюминийи E-AlMgSi муқовимати коррозияи онро тақрибан 10-15% баланд мебардорад. Афзоиши суръати зангзании ҳӯлаҳо новобаста аз таркиби онҳо аз концентратсияи $NaCl$ дар маҳлул қайд карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки афзоиши концентратсияи хлорид-ион дар электролити $NaCl$ ба коҳиши потенциали коррозияи озод, репассиватсия ва питингҳосилшавии ҳӯлаҳо оварда мерасонад.

Калимаҳои калидӣ: Ҳӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi, алдрей, калсий, кадмий, сурма, усули потенциостатикӣ, рафтори электрохимиявӣ, электролити $NaCl$, потенциали коррозияи озод, суръати коррозия.

КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-ALMGSI (“АЛДРЕЙ”) С КАЛЬЦИЕМ, КАДМИЕМ И СУРЬМОЙ В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

Аннотация. В статье приведены результаты исследования влияния добавок кальция, кадмия и сурьмы (0.01 ÷ 0.5 масс. %) на анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“альдрей”), в среде

электролита NaCl. Исследования проведены потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с.

Исследования показали, что со временем, потенциал свободной коррозии сплавов смещается в положительную сторону и с ростом концентрации алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («альдрей») приобретает положительное значение. Добавки кальция, кадмия и сурьмы к алюминиевому проводниковому сплаву E-AlMgSi на 10 – 15% повышают его коррозионную стойкость. Отмечено увеличение скорости коррозии сплавов независимо от их состава от концентрации NaCl в растворе. Показано, что рост концентрации хлорид-иона в электролите NaCl приводит к снижению потенциалов свободной коррозии, репассивации и питтингообразования.

Ключевые слова: алюминиевый проводниковый сплав E-AlMgSi, алдрей, кальций, кадмий, сурьма, потенциостатический метод, электрохимическое поведение, электролит NaCl, потенциал свободной коррозии, скорость коррозии.

CORROSION AND ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF ALUMINUM CONDUCTOR ALLOY E-AlMgSi ("ALDREY") WITH CALCIUM, CADMIUM AND ANTIMONY IN A NaCl ELECTROLYTE MEDIUM

Annotation. The article presents the results of a study of the effect of calcium, cadmium and antimony additives (0.01 - 0.5 wt. %) for the anodic behavior of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi ("aldrey"), in the medium of the electrolyte NaCl. The studies were carried out by a potentiostatic method in a potentiodynamic mode with a potential sweep rate of 2 mV/s.

Studies have shown that over time, the potential for free corrosion of alloys shifts in a positive direction and with an increase in the concentration of aluminum conductor alloy E-AlMgSi ("aldrey") acquires a positive value. The addition of calcium, cadmium and antimony to the aluminum conductor alloy E-AlMgSi increases its corrosion resistance by 10-15%. An increase in the corrosion rate of alloys was noted, regardless of their composition and the concentration of NaCl in solution. It is shown that an increase in the concentration of chloride ion in the NaCl electrolyte leads to a decrease in the potentials of free corrosion, repassivation, and pitting of alloys.

Keywords: aluminum conductor alloy E-AlMgSi, aldrey, calcium, cadmium, antimony, potentiostatic method, electrochemical behavior, electrolyte NaCl, free corrosion potential, corrosion rate.

Маълумот дар бораи муаллифон:

Холов Ёрмаҳмад Чомаҳмадович - н.и.т., кафедраи сохтмон ва зебосозии шаҳру деҳоти Донишгоҳи давлатии Данғара. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, ноҳияи Данғара, кӯчаи Маркази 24. Тел.: (+992) 93-408-88-34;

Ғаниев Изатулло Наврузович – академики академияи Миллии илмҳои Тоҷикистон, доктори илм, профессор, мудири озмоишгоҳи маводҳои ба анҷозанин тобовар, Институти

химии В.И. Никитин. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734063, ш. Душанбе, хиебони Айни 299/2. **Тел.:** (+992) 93-572-88-99, **E-mail:** ganievizatullo48@gmail.com;

Чайлоев Чамшед Хусейнович – н.и.т., корманди илмӣ озмоишгоҳи маводҳои ба зангзании тобовари Институти химии ба номи В.И. Никитинаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734063, ш. Душанбе, хиебони Айни 299/2. **Тел.:** +992-93-415-71-15, **E-mail:** husenzod85@mail.ru;

Худойбердизода Саидмири Убайдулло – н.и.т., озмоишгоҳи маводҳои ба зангзании тобовари Институти химии ба номи В.И. Никитинаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734063, ш. Душанбе, хиебони Айни 299/2. **Тел.:** +992-92-792-37-92, **E-mail:** saidmir010992@mail.ru;

Маҳмудзода Муъминҷон – н.и.т., озмоишгоҳи маводҳои ба зангзании тобовари Институти химии ба номи В.И. Никитинаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. **Суроға:** Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734063, ш. Душанбе, хиебони Айни 299/2. **E-mail:** m.mahmudzoda@mail.ru;

Сведения об авторах:

Холов Ёрмахмад Джомахмадович – к.т.н., кафедра строительства и благоустройства городов и сел Дангаринского государственного университета. **Адрес:** 735320, Республика Таджикистан, Дангаринский район, ул.Маркази 25. **Тел.:** (+992) 93-408-88-34;

Ганиев Изатулло Наврузович – академик Национальной академии наук Таджикистана, д.х.н., проф., заведующий лабораторией «Коррозионностойкие материалы», «Институт химии В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана». **Адрес:** Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, пр. Айни 299/2, телефон: (+992) 93-572-88-99, **E-mail:** ganievizatullo48@gmail.com;

Джайлоев Джамшед Хусейнович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Коррозионностойкие материалы», «Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана». 734063. г. Душанбе, пр. Айни 299/2. Телефон: +992-93-415-71-15, **E-mail:** husenzod85@mail.ru;

Худойбердизода Саидмири Убайдулло – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Коррозионностойкие материалы», «Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана». **Адрес:** 734063. г. Душанбе, пр. Айни 299/2. **Тел.:** +992-92-792-37-92, **E-mail:** saidmir010992@mail.ru;

Маҳмудзода Муъминдҷон – кандидат технических наук., старший научный сотрудник лаборатории «Материаловедение», Центр по исследованию инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана». **Адрес:** 734063. г. Душанбе, пр. Айни 299/3. **E-mail:** m.mahmudzoda@mail.ru;

Information about the authors:

Ermakhmad Dzhomakhmadovich Kholov – Candidate of Technical Sciences, Department of Construction and Improvement of Towns and Villages, Dangara State University. **Address:** 25 Markazi St., Dangari district, 735320, Republic of Tajikistan. **Phone:** (+992) 93-408-88-34;

Ganiev Izatullo Navruzovich – is an academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Laboratory "Corrosion-resistant Materials", V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Address: 299/2 Aini Ave., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan, phone: (+992) 93-572-88-99, E-mail: ganievizatullo48@gmail.com;

Dzhayloev Jamshed Huseynovich – is a Candidate of Technical Sciences, a leading researcher at the Laboratory "Corrosion-resistant Materials", V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan. 299 Aini ave., Dushanbe, 734063/2. Phone: +992-93-415-71-15, E-mail: husenzod85@mail.ru;

Khudoyberdizoda Saidmiri Ubaidullo – is a Candidate of Technical Sciences, a leading researcher at the Laboratory of Corrosion–Resistant Materials, V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan. **Address:** 299 Aini ave., Dushanbe, 734063/2. **Phone:** +992-92-792-37-92, **E-mail:** saidmir010992@mail.ru.

Mahmudzoda Muymijnjon is a Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Materials Science Laboratory, the Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan. **Address:** 734063. Dushanbe, Aini ave. 299/3. E-mail: m.mahmudzoda@mail.ru.

МАЪЛУМОТ БАРОИ МУАЛЛИФОН

Талабот нисбат ба мақолаҳои илмие, ки ба маҷаллаи илмӣ «Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара» пешниҳод мешаванд.

Мақолаҳои илмие, ки ба редакцияи маҷалла пешниҳод мешаванд, бояд ба талаботи зерин ҷавобгӯ бошанд:

- Мақолаҳо бояд бо риояи талаботи муқаррарнамудаи ҳайати таҳририяи маҷалла навишта шаванд;
- Мақолаҳо бояд натиҷаи таҳқиқоти илмиро дар ин ё он соҳа фаро гиранд;
- Мақолаҳо бояд ба яке аз самтҳои (бахшҳои) маҷалла мувофиқ бошанд;

Ҳама маводҳое, ки ба ҳайати таҳририяи маҷалла пешниҳод мешаванд, аз барномаи зиддисирқат дар вебсайти **Antiplagiat** тафтиш мешаванд ва пас аз он ҳайати таҳририя муаллифнро (ҳаммуаллифнро) аз натиҷаи баҳодиҳии дастнавис огоҳ мекунад. Сониян, ҳайати таҳририя дар бораи қабули мавод ва коркарди минбаъда ва ё аз радшудани он муаллифнро (ҳаммуаллифнро) хабардор менамояд.

Талабот оид ба сохтори мақолаҳои илмӣ

Мақола бояд дар формати Microsoft Word, шрифти Times New Roman, андозаи 14, ҳошия аз ҳар тараф 2,5 см, фосилаи байни сатрҳо 1,5 мм таҳия карда шавад. Ҳаҷми мақола (бо дарбаргирии фишурда ва феҳрасти манобеи истифодашудаи он) бояд аз 6 то 15 саҳифаро дар формати A4 фаро гирад.

Сохтори мақола

- Индекси УДК;
 - Унвони мақола бо ҳарфҳои калон;
 - насаб ва ҳарфҳои аввали номи муаллиф (масалан, Шарипов Д.М.);
 - номи ташкилоте, ки дар он муаллифи мақола кор мекунад;
 - матни асосии мақола;
 - истинод аз маводи мушаххас дар қавси мураббаъ [4, с.25] оварда мешавад;
 - ҷадвалҳо, диаграммаҳо, схемаҳо ва расмҳо бояд ном дошта, рақамгузорӣ карда шаванд;
 - номгӯии манобеи истифодашуда (на камтар аз 5 ва на зиёда аз 10 ададро дар бар гирад);
 - Феҳрасти манобеи истифодашуда мувофиқи талаботи ГОСТ 7.1-2003 ва ГОСТ 7.0.5-2008 тартиб дода мешавад;
 - Манобеи истифодашуда тадқиқоти анҷомдодаи солҳои охири муҳаққиқони соҳаро дарбар гирад;
 - Пас аз феҳрасти манобеи истифодашуда бо сезабон (точикӣ, русӣ ва англисӣ) маълумоти зерин оварда мешавад: унвони мақола, фишурдаи он ва калидвожаҳо (фишурда на камтар аз 100 калима, калидвожаҳо аз 7 то 10 калима ё ибораҳо);
 - маълумот дар бораи муаллиф (он) ба забонҳои тоҷикӣ, русӣ ва англисӣ (ба чунин тартиб: ному насаби пурраи муаллиф (он), дараҷаи илмӣ, унвони илмӣ (агар бошад), номи ташкилоте, ки муаллиф (он) дар он кор мекунад, вазифаи муаллиф (он) дар ин ташкилот, рақами телефон, суроғаи электронии муаллиф (он);
- Тақриз ба мақолаи илмӣ пешниҳодшуда аз ҷониби номзад ё доктори илм барои муаллиф (он)-е, ки дараҷаи илмӣ надорад ҳатмӣ мебошад.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Требования к научным статьям, подаваемым в научный журнал «Вестник Дангаринского государственного университета».

Научные статьи, подаваемые в редакцию журнала, должны соответствовать следующим требованиям:

- Статьи должны быть написаны с соблюдением требований, установленных редколлегией журнала;
- Статьи должны включать результаты научных исследований в той или иной области;
- Статьи должны соответствовать одному из направлений (разделов) журнала;

Все материалы, поступившие в редакцию журнала, будут проверены программой антиплагиат на сайте **Antiplagiat**, после чего редакция уведомит авторов (соавторов) о результатах оценки рукописи. Во-вторых, редакция информирует авторов (соавторов) о принятии материала и дальнейшей обработке или отклонении.

Требования к структуре научных статей

Статья должна быть написана в формате Microsoft Word, шрифт Times New Roman, размер кегл 14, поля 2,5 см, межстрочный интервал 1,5 мм. Объем статьи (включая аннотацию и список использованных источников) должен занимать от 6 до 15 страниц формата А4.

Структура статьи

- индекс УДК;
- название статьи заглавными буквами;
- фамилия и инициалы имени автора (например, Шарипов Д.М.);
- название организации, в которой работает автор статьи;
- основной текст статьи;
- ссылка на конкретные материалы дается в квадратных скобках [4, с.25];
- таблицы, схемы, диаграммы и рисунки должны быть названы и пронумерованы;
- список использованных источников (включать не менее 5 и не более 10 наименований);

- Перечень используемых ресурсов составляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 и ГОСТ 7.0.5-2008;

- Используемые источники должны включать исследования, проведенные исследователями за последние годы.

- После списка использованных источников на трех языках (таджикском, русском и английском) указывается следующая информация: название статьи, ее краткое содержание и ключевые слова (резюме не менее 100 слов, ключевые слова от 7 до 10 слов или фраз);

- сведения об авторе(ах) на таджикском, русском и английском языках в следующем порядке: полное имя автора(ов), ученая степень, звание (при наличии), наименование организации, где работает автор(ы), номер телефона, адрес электронной почты.

За предоставленную научную статью со стороны авторов, которые не имеют ученой степени, рецензия от кандидатов или докторов наук обязательна.

МУНДАРИҶА

МАТЕМАТИКА

Умаров С.Ҳ. Таҳқиқ намудани муодилаи интегро – дифференсиалии тартиби сеюм бо ядрои сингулярӣ бо истифода аз табдилоти интегралӣи меллин.....	5
Ҷуразода Х. Ш., Ниёзов Ш. Д., Умаров А.Н. Усулҳои рақамии ҳалли равандҳои ғайристационарӣ-сингулярӣ бо истифода аз усули фарқиятҳои ниҳой.....	17
Ойев С.Я. Пайдоиши адади π ва истифодаи он дар китоби “Ибтидо”-и Уклідус (Евклид).....	24
Раҳмонов Б.А., Бозорзода Ш. Ҳисоб намудани интегралҳои ғайрихос аз функсияи тағйирёбандаи ҳақиқидошта бо ёрии тафриқҳо.....	30
Каримов А.Ғ., Талбаков Ҳ. Ҳалли мисолу масъалаҳои омехта ба воситаи забони барномасозӣ доир ба системаҳои муодилаҳои алгебравӣ дар компютер.....	42

ФИЗИКА

Ақдодов Д.М., Балаҷонзода С.Д. Тадқиқоти хусусиятҳои акустикии моеъҳои бисёратома ва қутбӣ.....	51
Умаров А.Н., Азимов С., Шодиев М.С., Наботов Ю.Ш. Озмоишгоҳи виртуалӣ. Модели компютери “Андозагирии қувваҳои теладиҳанда”.....	64
Шарофӣ З.Ш., Каримов З.Д., Умаров А.Н. Модели математикии ҳаракати мутақобилаи ду ҷисм.....	77
Тоирзода С.Т. Таҳқиқи хусусиятҳои физикию механикии массивҳои сангии нақбҳои гидротехникӣ пас аз речаи тӯлонии истифодабарӣ.....	85
Шарифова В. З., Умаров А. Н. Амсиласозии компютери “Омӯзиши ҳаракати собитшито”.....	94
Умаров А.Н., Олимӣ А.Р., Азимов С., Исозода А.З. Модели компютери ҳодисаи паҳншавии мавҷҳои садо (озмоишгоҳи виртуалӣ)	107
Олимӣ А.Р., Шодиев М. С. Амсиласозии компютери «Муқоисаи миқдори гармӣ ҳангоми омехта кардани обҳои ҳарораташон гуногун» (озмоишгоҳи виртуалӣ).....	123
Шамсуллоев Ш.А. Интиҳоб кардани усули экспресс ва асбоби назорати сифати тайёр кардани намақоби сер.....	132

ХИМИЯ

Раҷабов Ш.Х., Сайдалиев Д.А. Технологияи истеҳсоли хлор ва ишқор аз намаки ошӣ ва оҳаксанг бо усули электролизи намақоб.....	146
Холов Ё.Ҷ., Ғаниев И.Н., Ҷайлоев Ҷ.Х., Худойбердизода С.У., Маҳмудзода М. Рафтори коррозиян-электрохимиявии ҳулаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi (“алдрей”) бо калсий, кадмий ва сурма дар муҳити электролити NaCl.....	153

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Умаров С.Х. Исследование интегро-дифференциального уравнения третьего порядка с сингулярным ядром с использованием интегрального преобразования меллина.....	5
Джуразода Х. Ш., Ниёзов Ш. Д., Умаров А.Н. Численные методы решения сингулярно-возмущённых нестационарных процессов теплопроводности с использованием метода конечных разностей.....	17
Ойев С.Я. Происхождение числа π и его использование в книге «Начала» Евклида....	24
Рахмонов Б.А., Бозорзода Ш. Вычисление несобственных интегралов от функций действительной переменной с помощью вычётов.....	30
Каримов А.Г., Талбаков Х. Х. Решение смешанных задач на языке программирования для систем алгебраических уравнений на компьютере.....	42

ФИЗИКА

Акдодов Д.М., Баладжонзода С.Д. Исследование акустических свойств многоатомных и полярных жидкостей.....	51
Умаров А.Н., Азимов С., Шодиев М.С., Наботов Ю.Ш. Виртуальная лаборатория. компьютерная модель «измерение выталкивающей силы».....	64
Шарофи З.Ш., Каримов З.Д., Умаров А.Н. Математическая модель взаимного движения двух тел.....	77
Тоирзода С.Т. Исследование физико-механических характеристик скального массива гидротехнических туннелей после длительного режима эксплуатации....	85
Шарифова В. З., Умаров А. Н. Компьютерное моделирование «Изучение равноускоренного движения».....	94
Умаров А.Н., Олимй А.Р., Азимов С., Исозода А.З. Компьютерные модели явления распространения звуковых волн.....	107
Олимй А.Р., Шодиев М. С. Компьютерное моделирование «Сравнение количества теплоты при смешивании воды разной температуры» (виртуальная лаборатория).....	123
Шамсуллоев Ш.А. Выбор экспресс метода и прибора контроля качества приготовления насыщенного солевого раствора.....	132

ХИМИЯ

Раджабов Ш.Х., Сайдалиев Д.А. Технология получения хлора и щелочи из пищевой соли и известняка методом соляного электролиза.....	146
Холов Ё.Дж., Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Худойбердизода С.У., Махмудзода М. Коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с кальцием, кадмием и сурьмой в среде электролита NaCl.....	153

CONTENTS

MATHEMATICS

Umarov S. H. Study of integro-differential equation of the third order with singular nucleus using mellin integral conversion.....	5
Juraev Kh. Sh., Niyazov Sh. D., Umarov A. N. Numerical methods for solving singularly obvious nonstationary heat conduction processes using the finite difference method.....	17
Oyev S. Y. The origin of the number π and its use in Euclid's book «Elements».....	24
Rakhmonov B.A., Bozorzada Sh. Calculating improper integrals of functions of a real variable using residues.....	30
Karimov A. G., Talbakov H. Kh. Solving mixed problems in a programming language for systems of algebraic equations on a computer.....	42

PHYSICS

Aqdodov D. M., Balajonzoda S. D. Study of acoustic properties of multi-atomic and polar liquids.....	51
Umarov A. N., Azimov S., Shodiev M. S. Nabatov Y. Sh. Virtual laboratory. Computer model "Measuring the buoyant force".....	64
Sharofi Z. Sh., Karimov Z. D., Umarov A. N. Mathematical model of the mutual motion of two bodies.....	77
Toirzoda S. T. Study of physical and mechanical characteristics of rock massif of hydraulic tunnels after long-term operation.....	85
Sharifova V. Z., Umarov A. N. Computer simulation "Study of uniformly accelerated motion".....	94
Umarov A. N., Olimi A. R., Azimov S., Isozoda A. Z. Computer models of sound wave propagation phenomenon.....	107
Olimi A. R., Shodiev M. S. Computer simulation "Comparison of the amount of heat when mixing water of different temperatures" (virtual laboratory).....	123
Shamsulloev Sh. A. Selecting an express method and device for controlling the quality of preparing a saturated salt solution.....	132

CHEMISTRY

Rajabov Sh. Kh., Saidaliev D. A. Technology for the production of chlorine and alkali from basin salt and limestone by the method of salt electrolysis.....	146
Corrosion and electrochemical behavior of aluminum conductor alloy E-AlMgSi ("aldrey") with calcium, cadmium and antimony in a NaCl electrolyte medium.....	153

ПАЁМИ

ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА

Бахши илмҳои табиӣ

2025. № 2 (32)

ВЕСТНИК

ДАНГАРИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО

УНИВЕРСИТЕТА

Серия естественных наук

2025. № 2 (32)

BULLETIN

OF DANGARA STATE UNIVERSITY

Series of natural science

2025. No. 2 (32)

Ба матбаа 26.05.2025 супорида шуд.

Ба чопаш “-----”----- 2025 имзо шуд.

Қоғози офсет. Андозаи 60x84 1/16. Ҷузъи чоп. 11,1

Супориши №____. Адади нашр 50 нусха.

ҶДММ “Моҳи-Мунир”