

FTAMP 30.03.17

Б. Сағындықов | ©



ORCID

Физ. мат. ғылым. канд., қауымдас. профессор

<https://orcid.org/0000-0002-5349-1961>



Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,



Алматы қ., Қазақстан



Bimurat55@gmail.com

<https://doi.org/10.55956/COXA7643>

СЕРПІМДІ ТОЛҚЫННЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫНЫҢ НЬЮТОНДЫҚ ЕМЕС СҰЙЫҚТЫҢ ТЕМПЕРАТУРАСЫНА ТӘУЕЛДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Ғылыми еңбекте биологиялық сұйықтарға жақын сұйықтардағы ультрадыбыс толқынының жылдамдығының температураға тәуелділігін зерттеу мақсатында резонанстық жиілігі 5 МГц пьезоэлементтен, генератордан, күшейткіштен, осцилографтан, қыздырғыштан, айнымалы ток көзінен, мыс-константан терможұбынан, температура реттегіштен тұратын импульсті ультрадыбысты автоматтандырылған қондырғы жинастырылды. Қоюлықтары әртүрлі ертінділердегі атмосфералық қысымдағы кума толқын жылдамдықтары мен тығыздықтарының температура тәуелділіктері өлшеніп, алғаш рет графиктері тұрғызылды. Тәжірибе жүзінде өлшеніп алынған физикалық параметрлердің көмегімен зерттеліп отырған сұйық үлгінің атмосфералық қысымдағы серпімділік қасиеттерінің температураға тәуелділігі физикадан белгілі заңдылықтар мен формулалардың көмегімен есептеп анықталды. Серпімді кума толқынды шығаратын көз және оны үлгінің жоғары бетінде орналасқан айнадан шағылып келгенде қабылдайтын қабылдағыш ретінде бір пьезоэлемент қолданылды. Ультрадыбыс толқынының үлгіні шағылғанға дейінгі және шағылғаннан кейінгі жүріп өткен жолына кеткен уақыты осцилографтың экранында пайда болған жіберілген және шағылған импульстерді беттестіру арқылы анықталды. Жинақталған қондырғының өлшеу дәлдігін бағалау мақсатында ультрадыбыс толқынының жылдамдығы жақсы зерттелген дистилденген су пайдаланылды. Жинастырған қондырғыда алынған нәтижелер анықтамалардағымен сәйкес келді.

Тірек сөздер: Ньютондық емес сұйықтық, пьезоэлектрлік эффект, ультрадыбыс, кума толқын, биологиялық сұйықтар, импульсті қондырғы.



Сағындықов, Б. Серпімді толқынның жылдамдығының ньютондық емес сұйықтың температурасына тәуелділігін зерттеу [Мәтін] / Б. Сағындықов // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №1(87). – Б.485-493.
<https://doi.org/10.55956/COXA7643>

Кіріспе. Ғылыми еңбек мектеп физика және химия курстарында қарастырылатын ерекше қасиеттерімен сипатталатын Ньютондық емес сұйықтардың физикалық қасиеттерін, яғни ондағы кума толқын жылдамдығының, адиабаталық сығылғыштық қасиеттерінің температураға тәуелділігі алғаш рет зерттеліп отыр. Үлкен қысымдарда серпімді қатты денеге, ал шамалы қысымдарда өте жұмсақ, иілгіштік және сығылғыштық қасиеттері

жоғары күйлерге өтетін заттар Ньютондық емес сұйықтарға жатады. Ньютондық емес сұйықтар биофизика, биохимия, биогидродинамика ғылымдарының дамуына үлкен ықпалын тигізді. Егер қозғалыстағы сұйықтың тұтқырлығы тек табиғатына және температурасы мен жылдамдығының градиентіне тәуелді болмаса, оны Ньютон сұйықтығы деп атайды. Реал сұйықтар Ньютондық және Ньютондық емес сұйықтықтарға бөлінеді. Ньютондық сұйықтықтарда сұйықтың бір қабатының екінші қабатымен салыстырғандағы қозғалысында туындайтын жанама кернеудің шамасы ығысу жылдамдығына пропорционал. Салыстырмалы тыныштықта кернеу нөлге тең. Оған су, май, бензин, керосин, глицерин т.б. сұйықтар жатады. Ал Ньютондық емес сұйықтың қабаттарының қозғалыстары баяу және оның Ньютондық сұйықтан айырмашылығы тыныштық күйінде жанама кернеу, яғни ішкі үйкеліс күші пайда болады. Мысалы, тұтқырлығы жылдамдықтың градиентіне тәуелді сұйықтықтарды Ньютондық емес сұйықтық деп атайды. Ньютондық емес сұйықтар, кәдімгі сұйықтарды сипаттайтын заңдылықтарға бағынбайды. Ньютондық емес сұйықтықтың жоғарыда айтылған физико-химиялық қасиеттері көптеген тұрмыстық және техниканың өзекті мәселелерін шешуге ықпалын тигізеді. Ньютондық емес сұйықтан алынған материал жұмсақ, әрі беріктігі жоғары болғандықтан, шыны ыдыстарды тасымалдайтын контейнерлер, дулыға, тізе жастықшасын жасауға және қозғалтқыштардың айналымын арттырғанда үйкеліс күшін бірнеше есе кеміту үшін, көлік жолдарының мәселелерін шешу мақсатында қолданылады. Сондықтан Ньютондық емес сұйықтықтың физико-химиялық, термодинамикалық, механикалық қасиеттерін зерттеу қазіргі таңда ғылымның өзекті мәселелеріне жатады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеліп отырған силикон майындағы ультрадыбыс толқынының жылдамдығын анықтау үшін импульсті [1,2] әдісті қолдандық. Импульстік әдіс үлгідегі серпінді кума толқынның жүріп өткен уақытын және амплитуданың кемуі бойынша өшу коэффициентін анықтауға негізделген. Ультрадыбыстың силикон майындағы жылдамдығын анықтау үшін толқынның үлгіні жүріп өткен уақытын өлшейміз. Генератордан [3,4] шыққан электр импульсі толқынның көзі және қабылдағыштың рөлін атқаратын цилиндр пішінді силикон майының төменгі табанына жапыстырылған резонанстық жалпы 5МГц кварцтан жасалған пьезоэлементте тербелісті қоздырады. Үлгіде тараған серпінді кума толқын оның жоғары табанына орналастырылған айнадан шағылып қабылдағышқа келеді. Пьезоэлемент оны қайтадан электр импульстеріне түрлендіріп күшейткішке береді. Осцилографтың экранындағы оның қалақшаларында ауытқып күшейтілген импульстерді пайдаланып толқынның кешігіп келу уақытын (t_k) өлшеп, жылдамдығын төменде келтірілген формуламен есептедік [5]:

$$v = \frac{2S}{t_k} \quad (1)$$

Егер толқындық қоздырылу үзіліссіз көп уақытқа ұласса, оны үздіксіз толқын деп атайды. Мұндай толқындар синустық немесе косинустық функциялармен сипатталады. Ультрадыбыс жылдамдығының шамасы зерттелетін үлгінің молекулалық құрылымын, молекулааралық әсерлесу күштерімен молекулалардың орналасу тығыздығына тәуелді. Ультрадыбыстық толқын силиконмайында тарағанда F күшінің әсерінен

бөлшектер ығысып бетінде қысым Δp , тығыздығы $\Delta \rho$ артады. Қарастырып отырған көлемнің сығылатын элементі қоздырылып оған жанасып жатқан элементті сығады. Осы үдеріс әрі қарай жалғасады. Толқын ортада көлденең қимасының ауданы S бетке перпендикуляр бағытталып, Δl қашықтыққа Δt уақытта төмендегі жылдамдықпен тарайды:

$$v_k = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (2)$$

Онда сығылған Δm массаны мына формуламен анықтаймыз [6]:

$$\Delta m = v_k \cdot \Delta t \cdot S \Delta \rho \quad (3)$$

Ал осы массаға әсер ететін күш мынаған тең:

$$F = \Delta p \cdot S \quad (4)$$

Импульстің өзгеру заңын жазайық:

$$F \Delta t = v_k \Delta m \quad (5)$$

Осы теңдікке (3)- пен (4)-формулаларды қойсақ, төмендегідей түрленеді:

$$S \Delta t \Delta p = S \Delta t v_k^2 \Delta \rho \quad (6)$$

Бұдан толқынның таралу жылдамдығын аламыз:

$$v_k = \left(\frac{\Delta p}{\Delta \rho} \right)^{1/2} \quad (7)$$

Гук заңы бойынша майларды серпімді деформациялағанда кернеулік салыстырмалы деформацияға пропорционал [7]:

$$\sigma = k \frac{\Delta V}{V} \quad (8)$$

Мұндағы, k көлемдік серпімділік модулі. Немесе (7)- және (8)-формулалардан мына өрнек шығады:

$$v_k = \left(\frac{k}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{1}{b \cdot \rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Мұндағы, $b = \frac{1}{k}$ сығылу коэффициенті. Бірдей шарттарда ультрадыбыс толқындарының таралу жылдамдығы тек ортаның физикалық қасиеттеріне, яғни тығыздығына, серпімділікке тәуелді екендігін (9)-формуладан көреміз.

Біз тәжірибе жүзінде крахмал мен судың қоспасын қарастырғандықтан, ультрадыбыс жылдамдығының сұйықтың концентрациясын анықтау үшін тығыздықтың концентрацияға тәуелдігін білуіміз керек. Заттың молярлық концентрациясы мольдік зат мөлшерін қоспаның көлеміне бөлгенге тең [8]:

$$N_{\mu} = \frac{v}{V} = \frac{m}{\mu \cdot V} \quad (10)$$

Немесе

$$m = \rho \cdot V$$

ескерсек, төмендегі қатынасты аламыз:

$$N_{\mu} = \frac{\rho}{M}$$

Бұдан:

$$v = \frac{1}{N_{\mu} \cdot M \cdot b} \quad (11)$$

Біз аналитикалық тұрғыдан ультрадыбыс жылдамдығы мен молярлы концентарцияны байланыстыратын формула таптық. Молярлық концентрацияны тәжірибе жүзінде өлшей алмайтындықтан, ультрадыбыс жылдамдығының пайыздық концентрацияға γ тәуелділігін зерттейміз. Заттың массалық үлгісінің (концентрацияның пайыздық) мөлшерін төмендегі қатынаспен есептейміз:

$$\gamma = \frac{m(\text{ерітілген зат})}{m(\text{қоспа})} \cdot 100\% \quad (12)$$

Заттан өтетін ультрадыбыс толқынның жылдамдығының концентрацияның пайыздық мөлшеріне тәуелділігін тәжірибе жүзінде анықтаймыз. Қоспа концентрацияның пайыздық шамасын есептеу үшін ерітілген заттың массасын тауып, қоспаның массасын анықтаймыз. Көлемі белгілі кюветтегі судың массасын табамыз. Бөлме температурасында (300 К) дистилляцияланған судың тығыздығы $997,045 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ кюветтің көлемі $0,95 \text{ м}^3$. Олай болса судың кюветтегі массасы: $m = \rho V = 997,045 \cdot 0,95 \text{ кг} = 947,20 \text{ г}$.

Енді крахмалдың $(C_6H_{10}O_5)_n$ белгілі массасындағы қоспаның пайыздық массалық үлесін табамыз. Ол үшін су мен ерітілген заттан тұратын қоспаның массасын есептейміз:

$$m(C_6H_{10}O_5)_n = m(\text{ерітілген зат}) + m(\text{су})$$

Мысалы, 10 г крахмалды суға қоссақ, жалпы масса мынаған тең болады:

$$m(\text{қоспа}) = 957,20 \text{ г} \quad (13)$$

Немесе (12)-өрнектен төмендегі формула шығады:

$$\gamma(C_6H_{10}O_5)_n \approx 1,044\%$$

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. 1-кестеде есептеулерден алынған $(C_6H_{10}O_5)_n$ крахмалдың массасының концентрацияның пайыздық мөлшеріне тәуелділігі көрсетілген. 2-кестеде кешігу уақытын өлшеп ультрадыбыстың есептелген жылдамдығының концентрацияға тәуелділігі

келтірілген. 3-кестеде силикон майындағы ультрадыбыс толқынының жылдамдығы мен адиабаталық сығылғыштың коэффициентіне температураның әсері туралы мәлімет берілген.

Кесте 1

Есептеулерден алынған $(C_6H_{10}O_5)_n$ крахмалдың массасының концентрациясының пайыздық мөлшеріне тәуелділігі

$m \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	$\gamma\%$	$m \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	$\gamma\%$	$m \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	$\gamma\%$
10	1,044	55	5,014	85	8,234
15	1,558	60	4,487	90	8,677
20	2,067	65	5,957	95	9,115
25	2,571	70	6,421	100	9,155
30	3,070	75	6,881	105	9,980
35	3,563	80	7,337	110	10,406
40	4,051	85	7,788	115	10,820
45	4,535	90		120	11,248

Кесте 2

Ультрадыбыстың есептелген жылдамдығының концентрацияға тәуелділігі

$t \cdot 10^{-3} \text{ C}$	$v \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$t \cdot 10^{-3} \text{ C}$	$v \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$t \cdot 10^{-3} \text{ C}$	$v \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
2,66	1,50	2,46	2,24	2,30	1,73
2,66	1,50	2,46	2,24	2,30	1,73
2,62	1,52	2,44	2,24	2,28	1,75
2,60	1,53	2,40	2,24	2,28	1,75
2,58	1,55	2,38	2,38	2,26	1,76
2,56	1,56	2,36	2,36	2,26	1,76
2,54	1,57	2,34	2,34	2,26	1,76
2,50	1,60	2,32	2,32	2,24	1,78

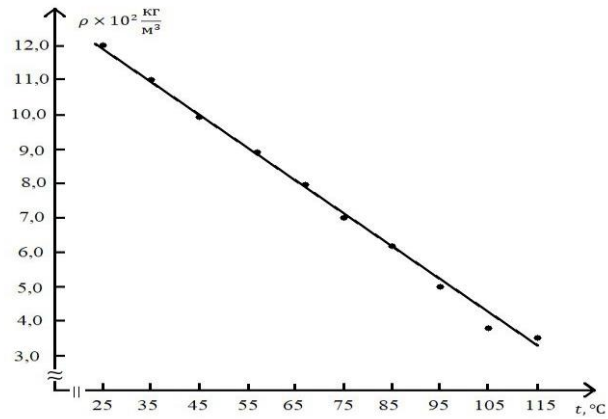
Кестелерден концентрация артқан сайын үлгідегі ультрадыбыстың жылдамдығының артатындығы байқалады.

Кесте 3

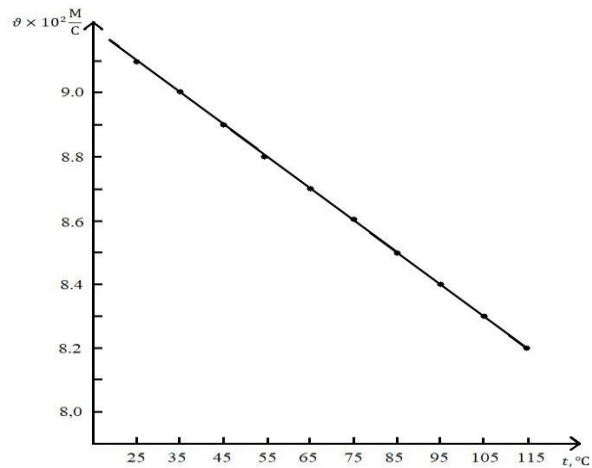
Силикон майының тығыздығының, онда тарайтын кума толқын жылдамдығының, адиабаталық сығылғыштық коэффициентінің температураға тәуелділігі

$t^\circ \text{C}$	$\rho \cdot 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$v \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\beta_s \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^2}{\text{Н}}$
25	0,120	0,920	9,90
35	0,110	0,909	11,11
45	0,099	0,898	12,65
55	0,089	0,888	14,28
65	0,078	0,876	16,94
75	0,067	0,865	20,00
85	0,056	0,853	29,10
95	0,050	0,842	35,44
105	0,039	0,830	38,46
115	0,037	0,819	44,66

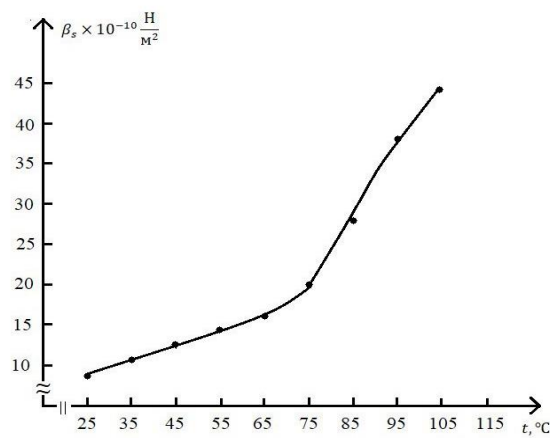
1-3-суреттерде силикон майының тығыздығының, онда тарайтын ультрадыбыс толқынының жылдамдығының адиабаталық сығылғыштық коэффициентінің температураға тәуелділік графиктері тұрғызылған.



Сурет 1. Силикон майының тығыздығының температураға тәуелділігі



Сурет 2. Силикон майындағы ультрадыбыс жылдамдығының температураға тәуелділігі



Сурет 3. Силикондық майдың адиабаталық сығылғыштық коэффициенттерінің температураға тәуелділігі

Тәжірибе жүзінде суда еритін заттың концентрациясын арттырғанда ультрадыбыс толқындарының жылдамдығы артатындығы (1-кесте) анықталды.

Өртүрлі ертінділерді ультрадыбыс толқындары арқылы зерттеп, қоспа заттарының компоненталарының әсерлесулерінің табиғаты туралы мағлұматтар алдық. Эксперименттен алынған нәтижелер бойынша серпімді толқынның жылдамдығы ортаның тығыздығына, серпімділігіне, яғни физикалық қасиеттеріне тәуелді деп қортынды жасаймыз. Заттың судағы концентрациясы артқанда серпімді толқынның жылдамдығы артады. Өйткені концентрацияның иондары артқанда еріткіштің сығылғыштығы өзгереді.

Қорытынды. Тәжірибе жүзінде Ньютондық емес сұйықта (крахмалдың судағы ертіндісінде) концентрация артқанда ультрадыбыстың жылдамдығының өсетіндігі дәлелденді.

Алғаш рет силикон майындағы атмосфералық қысымда серпімді толқынның жылдамдығы мен адиабаталық сығылғыштың коэффициентіне 35-115°C аралығында температураның әсері анықталды.

Әдебиеттер тізімі

1. Bizhigitov T., Zhumadilov E. Study dependence of yongs, shear modules and ultrasonic waves propagation of the ice VI modification to the pressure at a constant temperature // BULLITIN of L.N. Gumilyov Eurasian National University Physics Astronomy series. – 2020. – Vol. 133. – No.4. – P. 73-78.
2. Bizhigitov T., Yerlibayeva A. The dependence of the compzession modulus of ice-six and the coefficient of volume expansion on pzessuze and temperatuze // Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and mathematical sciences. – 2020. – Vol. 70. – No.2. – P. 166-170.
3. Бижигитов, Т. Методы исследования температурных зависимости адиабатических коэффициентов сжатия жидкого топлива наука [Текст] / Т. Бижигитов, А. Сембиева, А. Таттибаева // Международный научный журнал. – 2021. – №5(93). – С. 17-19.
4. Бижигитов, Т. Исследование модулей упругости проводников с использованием упругих волн [Текст] / Т. Бижигитов, А. Сембиева, Ж. Досабаева // Международный научный журанал Наука и мир. – 2023. – №5(117). – С.44-51.
5. Бижигитов, Т. Жалпы физика курсы 1 том [Мәтін]: оқулық / Т.Бижигитов. – Алматы:«Ланбарbooks», 2024. – 498 б.
6. Кухлинг, Х. Справочник по физике [Текст] / Х. Кухлинг. – Москва:«Мир», 1982. – 520 с.
7. Савельев, И.В. Курс общей физики. Том 1 Механика. Молекулярная физика [Текст] / И.В Савелнев. – Москва:«Наука», 1977. – 415 с.
8. Бижигитов, Т. Статистикалық физика. Физикалық кинематика негіздері [Мәтін]: оқулық / Т. Бижигитов. – Альманахъ, 2022. – 256 б.

Материал редакцияға 02.12.24 түсті, 12.03.25 қабылданды.

Б. Сағындықов

¹*Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ УПРУГОЙ ВОЛНЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ

Аннотация. В научной работе с целью изучения температурной зависимости скорости ультразвуковой волны в жидкостях, близких к биологическим, была собрана импульсная ультразвуковая автоматизированная установка, состоящая из пьезоэлемента резонансной частотой 5 МГц, генератора, усилителя, осциллографа, нагревателя, источника переменного тока, медно-константановой термопары, терморегулятора. Измерены температурные зависимости скоростей и плотностей продольных волн при атмосферном давлении в растворах различной плотности и впервые построены графики. С помощью экспериментально измеренных физических параметров вычислена температурная зависимость упругих свойств исследуемого жидкого образца при атмосферном давлении с помощью известных из физики закономерностей и формул. В качестве источника, излучающего упругую волну, и приемника, принимающего ее при отражении от зеркала, расположенного на верхней поверхности образца, использовался один пьезоэлемент. Время, затрачиваемое ультразвуковой волной на пройденный путь до и после отражения образца определялось путем совмещения пропущенных и отраженных импульсов, генерируемых на экране осциллографа. В целях оценки точности измерений собранной установки использовалась хорошо изученная дистиллированная вода с известной скоростью волны ультразвука. Результаты, полученные в собранной установке, совпали с данными справочника.

Ключевые слова: неньютоновская жидкость, пьезоэлектрический эффект, ультразвук, продольная волна, биологические жидкости, импульсная установка.

B. Sagindikov

¹*K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan*

INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE ELASTIC WAVE VELOCITY ON THE TEMPERATURE OF A NON-NEWTONIAN LIQUID

Abstract. In this study, an automated pulsed ultrasonic system was assembled to investigate the temperature dependence of the velocity of ultrasonic waves in liquids with properties close to those of biological fluids. The system includes a piezoelectric transducer with a resonant frequency of 5 MHz, a signal generator, an amplifier, an oscilloscope, a heater, an AC power source, a copper-constantan thermocouple, and a temperature controller. Temperature dependencies of the velocity and density of longitudinal waves at atmospheric pressure were measured in solutions of varying density, and the corresponding graphs were constructed for the first time. Using the experimentally obtained physical parameters, the temperature dependence of the elastic properties of the studied liquid sample under atmospheric pressure was calculated based on known physical laws and formulas. A single piezoelectric transducer was used both as the source of the elastic wave and as the receiver of the wave reflected from a mirror placed on the upper surface of the sample. The time taken by the ultrasonic wave to travel to and from the reflecting surface was determined by aligning the transmitted and reflected pulses displayed on the oscilloscope screen. To evaluate the accuracy of the measurements, distilled water – a well-studied liquid with a known ultrasonic wave speed

– was used. The results obtained from the assembled system matched the reference data, confirming the system's accuracy and reliability.

Keywords: Non-Newtonian liquid, piezoelectric effect, ultrasound, linear wave, biological fluids, pulse installation.

References

1. Bizhigitov T., Zhumadilov E. Study dependence of yongs,shear modules and ultrasonic waves propagation of the ice VI modification to the pressure at a constant temperature // BULLITÍN of L.N. Gumilyov Eurasian National University Physics Astronomy series. – 2020. – Vol. 133. – No.4. – P. 73-78.
2. Bizhigitov T., Yerlibayeva A.The dependence of the compzession modulus of ice-six and the coefficient of volume expansion on pzessuze and temperatuze // Bulletin of Abai KazNPU. Series of Physical and mathematical sciences. – 2020. –Vol. 70. – No.2. – P. 166-170.
3. Bizhigitov T., Sembiyeva A., Tattibayeva A. Metody issledovaniya temperaturnykh zavisimosti adiabaticheskikh koeffitsiyentov szhatiya zhidkogo topliva nauka [Methods for studying the temperature dependence of the adiabatic compression coefficients of liquid fuel science] // International scientific journal. – 2021. – No. 5(93). – P. 17-19. [in Russian].
4. Bizhigitov T., Sembiyeva A., Dosabayeva ZH. Issledovaniye moduley uprugosti provodnikov s ispol'zovaniyem uprugikh voln [Study of elastic moduli of conductors using elastic waves] // International scientific journal Science and Peace. – 2023. – No. 5(117). – P. 44-51. [in Russian].
5. Bizhigitov, T. Zhalpy fizika kursy 1 tom [Courses in physics, Vol. 1]: textbook. – Almaty: Lanbarbooks, 2024. – 498 p. [in Kazakh].
6. Kukhling, KH. Spravochnik po fizike [Handbook of Physics]. – Moscow: Mir, 1982. – 520 p. [in Russian].
7. Savel'yev, I.V. Kurs obshchey fiziki. Tom 1 Mekhanika. Molekulyarnaya fizika [General physics course. Vol. 1. Mechanics. Molecular physics]. – Moscow: Science, 1977. – 415 p. [in Russian].
8. Bizhigitov, T. Statistikal'nyy fizika. Fizikal'nyy kinematika negizderi [Statistical physics. Physics kinematics negizderi]: textbook. – Al'manakh', 2022. – 256 p. [in Kazakh].