

FTAMP 67.09.39

Т. Бижигитов¹ – негізгі автор, | ©
Э. Мадалиева²¹Физ.-мат. ғылым. канд., профессор, ²PhD, қауымдас. профессор

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-5276-8033> ²<https://orcid.org/0000-0003-4053-8801>^{1,2}М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,

Тараз қ., Қазақстан

¹bizhigitov_temirhan@bk.ru<https://doi.org/10.55956/UVXH4625>

ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ФИЗИКО-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ТЕМПЕРАТУРАҒА ТӘУЕЛДІЛІКТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Мақалада құрылыстарда кеңінен қолданылатын маркасы 09Г2С болаттың физико-механикалық қасиеттері тәжірибе жүзінде зерттелген. Зерттеу жұмыстарын жүргізетін қондырғының құрылысы сипатталып, зерттелетін үлгінің температурасын және онда таралатын серпімді кума және көлденең толқындардың жылдамдықтарын анықтау әдістері баяндалған. Ультрадыбыстың кума және көлденең толқындарының жылдамдықтары (220-380)К температура аралығында әрбір 10К температура сайын сатылы түрде өлшеніп отырылды. Толқынды шығаратын көз және оны қабылдайтын қабылдағыш ретінде резонанстық жиілігі 10 МГц кварцтан жасалған пьезоэлемент қолданылды. Үлгінің температурасын өлшеу мыс-константан терможұбы арқылы $\pm 1^\circ\text{C}$ дәлелділікпен іске асырылды. Цилиндр пішінді үлгіні суыту мақсатында құрғақ мұздың буы мен вольфрамнан жасалған қыздырғыш пайдаланылды. Тәжірибе жүзінде өлшеніп алынған параметрлер бойынша құрылыс механикасындағы белгілі формулалар қолданылып, серпімділік модульдерінің атмосфералық қысымда температураға тәуелділіктерінің графиктері тұрғызылып, алынған нәтижелер теориялық тұрғыдан талқыланды.

Тірек сөздер: көлденең және кума толқындар, толқын жылдамдықтары, мыс-константан терможұбы.



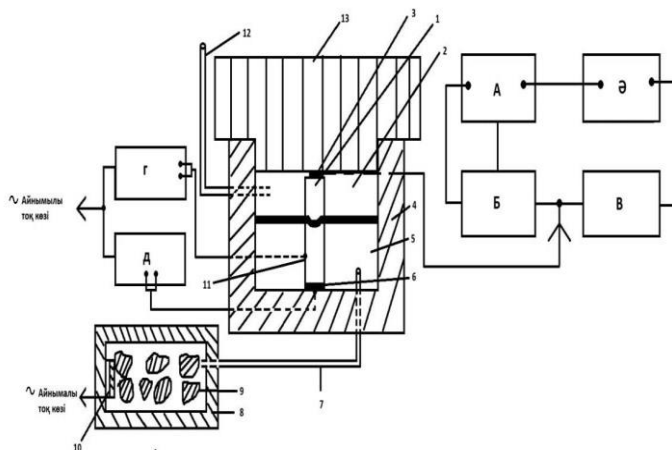
Бижигитов, Т. Құрылыс материалдарының физико-механикалық қасиеттерінің температураға тәуелділіктерін зерттеу [Мәтін] / Т. Бижигитов, Э. Мадалиева // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2024. – №4(86). – Б.212-219. <https://doi.org/10.55956/UVXH4625>

Кіріспе. Қазіргі кезде заманауи құрылыстар беріктілігі өте жоғары, температураға төзімді металл құрастырылымдарынан соғылады. Өйткені болаттан жасалған құрастырылымдар басқалардан өзінің жеңілдігімен, оңай дәнекерленетіндігімен, жылдам құрастырылатындығымен ерекшеленеді. Болат құрастырылымдар конструктивті пішіндеріне және функционалдық мақсатына байланысты өндірістік, биік көп қабатты емес ғимараттарды, көпірлер мен зәулім мұнараларды соғуға қолданылады. Біз (220-380)К температура аралығында қалыпты қысымда 09Г2С маркалы болаттың серпімділік қасиеттерін олардағы серпімді толқындардың таралу

жылдамдықтарын өлшеу арқылы Юнг және ығысу модульдерінің температураға тәуелділігін механикадан белгілі формулаларды қолданып, есептеп таптық. Көптеген жағдайларда серпімділік модулі кернеуліктің сығылу деформациясына қатынасымен есептеледі. Біз Юнг және ығысу модульдерінің қалыпты қысымда температураға тәуелділігін онда тарайтын серпімді толқындардың жылдамдықтарының шамаларын өлшеп, болаттың тығыздығының температураға тәуелді мәндерін пайдаланып анықтадық. Сонымен қатар серпімділік модулін анықтаудың иілудің тербелісін қолданып есептеу әдісін көрсеттік.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Ультрадыбыс толқындарының жылдамдықтарының температураға тәуелділігін зерттейтін импульстік қондырғының құрылымы 1-суретте көрсетілген.

A және *Ә* – өлшеуіш құралдар; *B* – ультрадыбыс генераторы; *B* – күшейткіш; *1* – зерттелетін үлгі; *2* – құрғақ мұздың буы өтетін кеңістік; *3* – пьезоэлемент; *4* – текстолит; *5* – темір парақшасынан жасалған ыдыс; *6* – қыздырғыш; *7* – құрғақ мұз буын беретін құбыршақ; *8* – текстолит; *9* – құрғақ мұздар; *10* – қыздырғыш; *11* – мыс-константан терможұбы; *12* – құрғақ мұздың буы шығатын құбыршақ; *13* – пенопласттан жасалған қақпақ; ~ – айнымалы ток көздері; *G* – температура реттегіш; *D* – кернеу көзі.



Сурет 1. Серпімді толқындардың жылдамдықтарының температураға тәуелділігін зерттейтін қондырғының құрылымы

Ультрадыбысты импульсті қондырғының негізгі элементтері электр тербелістерінің генераторы, пьезоэлектрлік түрлендіргіш, күшейткіш, өлшеуіш құралдар (қабылдағыш және осциллограф) болып табылады.

Генератор уақыт бойынша қысқа жоғары жиіліктегі электр импульстерін кварцтан жасалған пьезоэлементке жібереді. Кварц пьезоэлементі тербеліске ұшырап ультрадыбыстық толқынды зерттелетін ұзындығы 50 мм, диаметрі 10 мм цилиндр пішінді үлгіде таратады. Үлгінің табанынан шағылған серпімді толқын қабылдағышта қайтадан электр импульсіне түрленіп күшейткішке беріледі. Осциллографтың экранында үлгіге берілген және оның табанынан шағып кешігіп келген импульстерді көреміз. Оларды бір-бірімен беттестіріп кешігіп келу уақытын анықтаймыз. Яғни серпімді толқынның жүріп өткен жолына кеткен уақытты табамыз. Демек кума толқынның жылдамдығы үлгінің екі еселенген ұзындығын жүріп өткен жолға кеткен уақытқа бөлгенге тең.

Зерттелетін 09Г2С болаттың температурасын (220-380)К аралығында өзгертіп, әрбір 20К сайын бақылау үшін құрғақ мұздың буы, вольфрамнан жасалған қыздырғыштар мен температура реттегіш және мыс-константан терможұбы пайдаланылды. Қыздырғыш, терможұп, температура реттегіш бір-бірімен байланысқан. Егер үлгінің температурасын бізге қажетті температурадан арта бастаса температура реттегіш қыздырғышты тоқ көзінен айырады, ал кемісе қосады. Үлгінің ұзындығын, тығыздығының температураға тәуелділігін белгілі деп алып, төменде келтірілген формулаларды қолданып кума және көлденең серпімді толқындардың жылдамдықтарының Юнг және ығысу модульдерінің атмосфералық қысымда температураға тәуелділігін есептедік [1-3]:

$$v_{\text{кума}} = \frac{2l}{t} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}; E = \rho v_{\text{кума}}^2$$

$$v_{\text{көлд}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, G = \rho v_{\text{көлд}}^2$$

$$\frac{v_{\text{кума}}}{v_{\text{көлд}}} = \sqrt{2}, v_{\text{кума}} = \sqrt{2} v_{\text{көлд}}$$

Біз қолданған пьезоэлемент резонанстың жиілігі 10 МГц ультрадыбыс [4,5] толқынын тудырады. Ал көлденең толқынның жылдамдығын жоғарыда келтірілген формуламен есептедік.

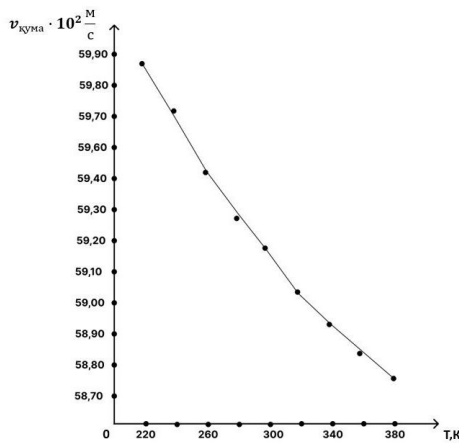
Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. 1-кестеде зерттеліп отырған 09Г2С болатындағы ультрадыбыстың, Юнг және ығысу модульдерінің қалыпты қысымда температураға тәуелділігі келтірілген.

Кесте 1

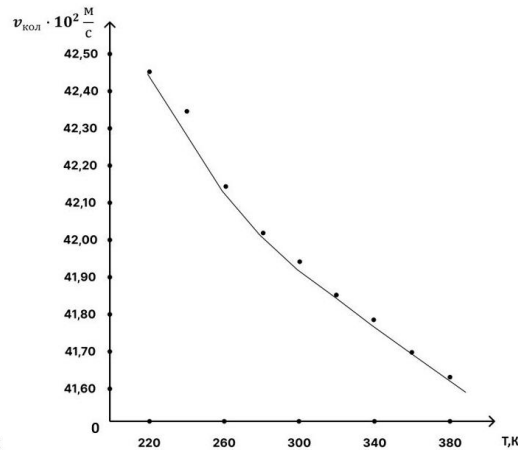
$\rho = \rho(T); v_{\text{кума}} = v_{\text{кума}}(T), v_{\text{көлд}} = v_{\text{көлд}}(T), E = E(T), G = G(T)$ тәуелділіктері

T, К	$\rho \times 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$v_{\text{кума}} \cdot 10^2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$v_{\text{көлд}} \cdot 10^2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$E \times 10^9 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$	$G \times 10^9 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$
220	78,65	59,85	42,44	281,72	140,86
240	78,75	59,70	42,34	280,67	140,33
260	78,83	59,40	42,12	278,14	139,07
280	78,92	59,25	42,02	277,05	138,52
300	78,80	59,15	41,95	275,69	137,84
320	78,72	59,00	41,84	274,02	137,01
340	78,67	58,90	41,77	272,92	136,46
360	78,55	58,79	41,69	271,48	135,74
380	78,43	58,72	41,64	270,42	135,21

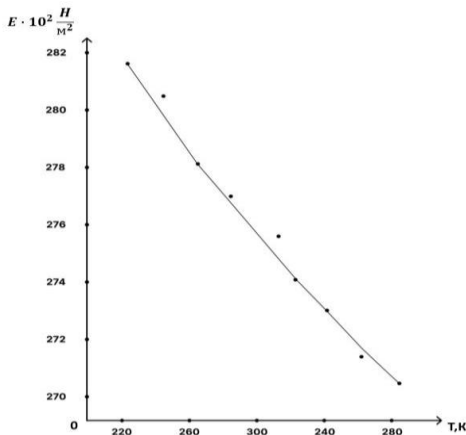
1-4 суреттерде зерттелетін үлгіде (09Г2С) тарайтын кума және көлденең толқындардың, Юнг және ығысу модульдерінің атмосфералық қысымда температураға тәуелділік графиктері тұрғызылған. Үлгіде көлденең толқынды тарататын кварцтан жасалған пьезоэлементті таба алмағандықтан, көлденең толқын мен ығысу модулінің шамаларын формулаларды пайдаланып есептедік. Цилиндр пішінді үлгінің диаметр 0 бойынша жылулық ұлғаюын ескермедік. Сондықтан Пуассон [6,7] коэффициентін ($\mu = 0$) нөлге тең деп алдық.



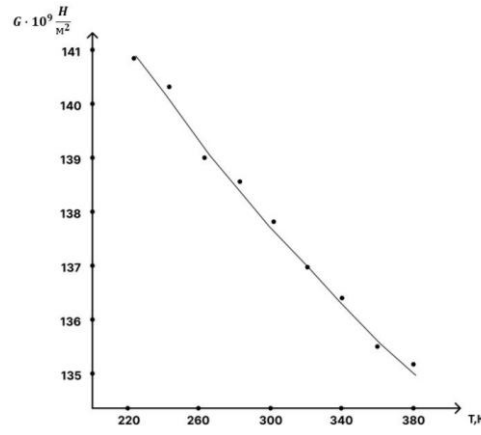
Сурет 1. Үлгіде тарайтын кума толқынның $v_{\text{кума}} = v_{\text{кума}}(T)$ тәуелділік графигі



Сурет 2. Үлгіде тарайтын көлденең толқынның $v_{\text{көлд}} = v_{\text{көлд}}(T)$ тәуелділік графигі



Сурет 3. Юнг модулінің температураға $E = E(T)$ тәуелділік графигі



Сурет 4. Ығысу модулінің температураға $G = G(T)$ тәуелділік графигі

1-кестеден және 1-4 суреттердегі графиктерден зерттеліп отырған үлгіде тарайтын кума және көлденең толқын жылдамдықтары мен серпімділік модульдерінің температура артқанда кемитіндігін көреміз.

Қатты денелердің серпімділік модульдері оларда тарайтын кума және көлденең толқындардың жылдамдықтары мен тығыздықтары арқылы сипатталады. Қатты денелердің атмосфералық қысымда температурасы жоғарыласа, онда тарайтын серпімді толқындардың жылдамдықтары кемиді. Өйткені күшті байланыспаған молекулалар қозғалысының салдарынан бір-бірінен алшақтап, әсерлесу күштері әлсірейді. Яғни молекулалардың ілгерілемелі қозғалыста берілетін энергиясы азаяды. Сондықтан біз қарастырып отырған маркасы 09Г2С болаттағы серпімді толқындардың жылдамдықтары температура ұлғайғанда төмендейді. Болаттың серпімділік модульдері жинастырылған құрылымының қандай күшке шыдайтынын бағалауға мүмкіндік береді. Иілу тербелісін қолданып зерттелетін дененің, серпімділік модулін анықтайтын әдісті талқылайық. Екі ұшы жіпке ілінген горизонталь орналасқан пішіні тік төртбұрышты призманың жақтау беттеріне

бір-біріне қарама-қарсы орналасқан біріншісі толқын көзінің, ал екіншісі қабылдағыштың рөлін атқаратын пьезоэлементтерді жабыстырамыз. Пьезоэлементтен шыққан серпімді толқын өзекшеде иілу тербелісін туғызады. Генератор арқылы толқын көзінің жиілігін өзгертіп, резонанстық жиілігін табамыз. Өзекшелер үшін иілу тербелісі төртінші ретті дербес туындылы келесі теңдеумен сипатталады:

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = -\frac{1}{b^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (1)$$

мұндағы: $b^2 = \frac{JE}{\rho S}$; ρ – өзекшенің тығыздығы; J – өзекшенің инерция моменті; S – өзекшенің көлденең қумасының ауданы; E – серпімділік модулі.

Еркін өзекше үшін иілдіру моменті мен тангенциалды күштер $x=0$ және $x=l$ болғанда нөлге теңесуі қажет. Теңдеудің шешімін мынадай түрде іздейміз:

$$y = Y(x) \cdot T(t)$$

Есепті айнымалыларды бөлу әдісімен шешсек, мына қатынасын аламыз:

$$\frac{T''}{b^2 T(t)} = \frac{Y''(x)}{Y(x)} = -\lambda \quad (2)$$

x және t мен салыстырғанда мына теңдеу шығады:

$$T'' = b^2 \lambda T \quad (3)$$

теңдеуін төмендегі тригонометриялық функция қанағаттандырады:

$$T_n = b_n \cos b\sqrt{\lambda_n} \cdot t + C_n \sin b\sqrt{\lambda_n} \cdot t \quad (4)$$

Тербеліс жиілігі төмендегі қатынасымен өрнектеледі:

$$\nu_n = \frac{b\sqrt{\lambda_n}}{2\pi} = \frac{\sqrt{\lambda_n}}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{JE}{\rho S}} \quad (5)$$

λ_n шамасы мына теңдеудің шешімімен анықталады:

$$Y'' - \lambda Y = 0 \quad (6)$$

Берілген шекті шарттарда төмендегі теңдеудің түбірлері болады:

$$\operatorname{ch}\sqrt{\lambda}l \cdot \cos^4\sqrt{\lambda}l = 1 \quad (7)$$

Бұдан $\mu_1 = \sqrt[4]{\lambda_1} = 4,73$; $\mu_2 = \sqrt[4]{\lambda_2} = 7,85$; $\mu_3 = \sqrt{\lambda_3} = 11,00$.

Демек иілу тербелісінің меншікті жиілігі мына формуламен есептеледі:

$$v_n = \frac{\mu_n^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{JE}{\rho S}} \quad (8)$$

Цилиндр пішінді өзекше үшін:

$$J = \frac{\pi d^4}{64}, S = \frac{\pi d^2}{4}, (\text{Призма үшін } J = \frac{bh^3}{12})$$

Бұдан:

$$v_n = \frac{1}{4} \frac{d}{l^2} \frac{\mu_n^2 \cdot n}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (9)$$

Немесе:

$$E = 1,26 \cdot \rho \frac{l^4}{d^2} \cdot v^2 \quad (10)$$

Цилиндр пішінді өзекшенің меншікті тербеліс жиілігін өлшеу арқылы серпімділік модулін есептей аламыз:

$$E = 1,63 \cdot 10^{-8} \left(\frac{l}{d}\right)^4 \frac{g}{l} v^2 \quad (11)$$

Егер ұзындығы 150 мм, диаметрі 5 мм өзекшенің иілу тербелісін өлшесек, Юнг модулін (11) формуламен есептейміз. Ұсынылып отырған әдіс өте ыңғайлы және өлшеу дәлелдігі басқалармен салыстырғанда жоғары.

Қорытынды. Жұмыс бойынша негізгі қорытындылар:

1. Құрылыс материалдарында тарайтын қума және көлденең толқындардың жылдамдықтарының температураға тәуелділігін анықтайтын қондырғы жинастырылды;

2. Зерттелген үлгіде тарайтын қума және көлденең толқындардың жылдамдықтары мен серпімділік модульдерінің температураға тәуелділігі алғаш рет анықталды;

3. Иілу тербелістерін қолданып қатты құрылыс материалдарының серпімділік модульдерін тәжірибе жүзінде анықтаудың әдісі ұсынылды;

4. Тәжірибе жүзінде өлшеніп және теориялық тұрғыдан есептеулер арқылы алынған нәтижелерге түсініктемелер берілді;

5. Иілу тербелістерін қолданып болат өзекшелердің серпімділік қасиеттерін анықтайтын әдіс талқыланып көрсетілді.

Әдебиеттер тізімі

1. Киттел, Ч. Курс физики. Механика [Текст]: том 1 / Ч. Киттел, У. Найт, М. Рудерман. – М: Наука, 1971. – 480 с.
2. Бижігітов Т. Жалпы физика курсы 1 том, Механика. Молекулалық физика [Мәтін]: оқулық. – Алматы: «Лантар books», 2024. – 498 б.
3. Виноградов, М.Б. Теория волн [Текст]: учебное пособие. – М: Наука, 1990. – 432 с.
4. Мишина, О.О. Ультразвук и его применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.Scienceforum.ru/2015/882/9754>
5. Красильников, В.А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах [Текст]: учебное пособие. – М.: Физматгиз, 1960. – 560 с.

6. Bizhigitov T., Yelibayeva A. The dependence of the compression modules of ice-six and the coefficient of volume expansion on pressure and temperature //Вестник КАЗНПУ им Абая, серия «Физико-математические Науки». – 2020. – №2(70).
7. Bizhigitov T., Zhumadilov E.. Study dependence of Young's, shear modulus ultrasonic waves propagation of the vi ice modification, to the pressure at a constant temperature //Bulletin of N. Gumilyov Eurasian National University Physics, Astronomy series. – 2020. – №4(133).
8. Bizigitov T., Zhumadilov E.. Methods of mathematical physics. Universitybook. – Almaty: "Lantar Books", 2023. – 370 p.

Материал редакцияға 11.11.24 түсті.

Т. Бижигитов¹, Э. Мадалиева¹

¹Таразский университет им. М.Х. Дулати, г.Тараз, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В статье экспериментально изучены физико-механические свойства стали марки 09Г2С, широко применяемой в строительстве. Описана конструкция установки для проведения исследовательских работ, изложены методы определения температуры исследуемого образца и теплоемкости распространяющихся в нем упругих погонных и поперечных волн. Мы измеряли скорости погонных и поперечных волн ультразвука в интервале температур (220-380)К через каждые 10К температуры ступенчато. В качестве источника, излучающего волну, и приемника, принимающего ее, мы использовали пьезоэлемент из кварца с резонансной частотой 10 МГц. Измерение температуры образца осуществлялось с доказательством $\pm 1^\circ\text{C}$ с помощью медно-константановой термосумки. Мы использовали нагреватель из пара сухого льда и вольфрама, чтобы охладить образец цилиндрической формы. По экспериментально измеренным параметрам с помощью известных формул в строительной механике построены графики температурных зависимостей модулей упругости при атмосферном давлении, теоретически обсуждены полученные результаты.

Ключевые слова: поперечные и погонные волны, их скорости, медно-константановая термопара.

T. Bizhigitov¹, E. Madaliyeva¹

¹M.H. Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan

INVESTIGATION OF TEMPERATURE DEPENDENCES OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS

Abstract. The article experimentally studied the physical and mechanical properties of steel grade 09G2C, widely used in construction. The design of the installation for conducting research is described, methods for determining the temperature of the test sample and the heat capacity of elastic linear and transverse waves propagating in it are described. We measured the velocities of linear and transverse ultrasound waves in the temperature range (220-380)K every 10K of temperature stepwise. As a source emitting a wave and a receiver receiving it, we used a quartz piezoelectric element with a resonant frequency of 10 MHz. The temperature of the sample was measured with a proof of $\pm 1^\circ\text{C}$ using a copper-constantane thermal bag. We used a heater made of dry ice steam and

tungsten to cool the cylindrical sample. Graphs of temperature dependences of elastic modulus at atmospheric pressure are constructed using experimentally measured parameters using well-known formulas in structural mechanics, and the results obtained are theoretically discussed.

Keywords: transverse and linear waves, their velocities, copper-constantane thermocouple.

References

1. Kittel, CH. Nayt, U., Ruderman, M. Kurs fiziki. Mekhanika [Physics course. Mechanics]: Vol. 1. – Moscow: Science, 1971. – 480 p. [in Russian].
2. Bizhigitov T. Zhalpy fizika kursy 1 tom, Mekhanika. Molekulalyk, fizika [Course of General Physics Volume 1, Mechanics. Molecular physics]: textbook. – Almaty: “Lantar Books”, 2024. – 498 p. [in Kazakh].
3. Vinogradov, M.B. Teoriya voln [Wave theory]: textbook. – Moscow: Science, 1990. – 432 p. [in Russian].
4. Mishina, O.O. Ultrasound and its application [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.Scienceforum.ru/2015/882/9754>. [in Russian].
5. Krasil'nikov, V.A. Zvukovyye i ul'trazvukovyye volny v vozdukh, vode i tverdykh telakh [Sound and ultrasonic waves in air, water and solids]: textbook. – Moscow: Fizmatgiz, 1960. – 560 p. [in Russian].
6. Bizhigitov T., Yelibayeva A. The dependence of the compression modules of ice-six and the coefficient of volume expansion on pressure and temperature // Bulletin of KAZNPU named after Abai, series “Physical and Mathematical Sciences”. – 2020. – No. 2(70).
7. Bizhigitov T., Zhumadilov E.. Study dependence of Young’s, shear modulus ultrasonic waves propagation of the vi ice modification, to the pressure at a constant temperature //Bulletin of N. Gumilyov Eurasian National University Physics, Astronomy series. – 2020. – No. 4(133).
8. Bizigitov T., Zhumadilov E.. Methods of mathematical physics. Universitybook. – Almaty: “Lantar Books”, 2023. – 370 p.