

Екі компонентті композитті материалдардың сапасын бақылаудың акустикалық әдісін бағдарламалық-аналитикалық талдау

¹*САЙМАНОВА Загира Бекетаевна, магистр, аға оқытушы, zagira@mail.ru,

¹МУХАМЕТЖАНОВА Бигуль Олжабаевна, магистр, аға оқытушы, grek79@mail.ru,

¹СУЛЕЙМЕН Айнұр Елубайқызы, магистр, аға оқытушы, ai-box@mail.ru,

¹САГАТБЕКОВА Динара Ермековна, магистр, оқытушы, dinara.sagatbkova@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Екі компонентті гетерогенді композициялық материалдағы компоненттердің (матрицалық және арматуралық материал) концентрациясын анықтауға арналған бұзылмайтын бақылаудың акустикалық әдістері сипатталған. Бұзбайтын бақылаудың акустикалық әдістерінің ерекшелігі-арзандығы, тиімділігі, өлшеулерді автоматтандыру мүмкіндігі. Акустикалық өлшеулер өте маңызды әдіс және гетерогенді ортаның құрамын бұзбай бақылау әдістерінің мысалы болып табылады. Жұмыс аймағының бір бөлігі арқылы барлық кірістер енгізіледі, есептеулер тиісті командалық батырмаларды басу арқылы жүзеге асырылады және қажетті нәтижелер анықталады. Анықталған мәліметтер негізінде әр түрлі мысалдармен гетерогенді ортадағы толқындық құбылыстарды есептеуге, шынайы төменгі жиіліктерді есептеу графиктерін құруға және гетерогенді концентраторларды қолдана отырып тиімді әдісті таңдауға мүмкіндік беретін бағдарламалық модельдер құруға болады.

Кілт сөздер: алгоритм, әдістеме, бағдарламалау, өлшеулерді автоматтандыру, есептеу графиктері, концентрация, өлшеулер, композиттік материалдар, толқындық құбылыстар, гетерогенді орта.

Кіріспе

Композиттік материалдардағы ығысулар немесе бойлық кернеулер үшін кішігірім бұзылулардың таралу жылдамдығы туралы түсінік қарапайым және арнайы түсіндіруді қажет етеді. Жұмыста барлық жерде композиттік материал мезгіл-мезгіл қайталанып, бүкіл композитті құрайтын немесе сипаттайтын негізгі ұяшықтың көмегімен сипаттауға болады деп болжанады. Бұл жағдайда қарапайым толқын үшін әр фундаменталды жасушадағы тербеліс амплитудалық фактор деп санауға ыңғайлы, ал композиттік материалдың іргелес фундаменталды жасушаларындағы тербеліс фазасының ығысуы композиттегі қарапайым толқынның қозғалуын сипаттайды [1, 2].

Жұмыста екі компонентті гетерогенді композициялық материалдағы компоненттердің (матрица және арматуралық материал) концентрациясын анықтау үшін бұзылмайтын бақылаудың акустикалық әдістері сипатталған.

Бұзылмайтын бақылаудың акустикалық әдістерінің ерекшелігі – арзан, тиімділік, өлшеулерді автоматтандыру мүмкіндігі. Акустикалық өлшеулер өте маңызды әдіс және гетерогенді ортаның құрамын бұзылмайтын бақылау әдістерінің мыса-

лы болып табылады.

Жұмыста [1-4], [6, 8] фоннды кристалл – фоннды кристалл, фоннды кристалл – тұтас орта сияқты бөлімнің шекарасынан акустикалық толқындардың өту және шағылысу коэффициенттерін анықтауға мүмкіндік беретін зерттеу нәтижелері бар. Бұл нәтижелер дыбыс жылдамдығын эксперименттік анықтау үшін өлшеу ұяшығы дәлірек анықтауға немесе таңдауға мүмкіндік береді. Шешілуі керек математикалық есеп – бұл нақты кері есеп.

Бір өлшемді теория аясында дәл кері есепті қолдана отырып, екі компонентті гетерогенді қатты ортаның құрамдас бөліктерінің концентрациясын анықтау әдістері жасалды – ұзын толқындар немесе төмен жиіліктер үшін белгілі дыбыс жылдамдығындағы композиттік материал. Біртекті емес бір өлшемді периодты ортадағы толқындардың таралуының маңызды белгілері [1, 4, 7, 9]: күшті дисперсия; өту және құлыптау жолақтарының шексіз санының болуы; таратылатын режимдердің шексіз санының болуы. Барлық осы ерекшеліктер гетерогенді ортаны акустикалық зондтау әдістерін жасау үшін маңызды. [1, 4, 7, 9] нәтижелеріне сүйене отырып, белгілі дыбыс

жылдамдығымен гетерогенді ортаның құрылымын анықтау үшін дәл кері есептерді шешу әдісі ұсынылған. Мысал ретінде судағы ауа көпіршіктерінің концентрациясын анықтау немесе газ толтырылған кеуекті ортаның кеуектілігін анықтау бойынша зерттеу жүргізілді.

Сұйықтықтағы немесе құрылымдалған композиттегі газ көпіршіктерінің тізбегі сияқты біртекті емес бірөлшемді периодты өткізгіш ортаның толқындық, баяулау және резонанстық қасиеттері [1, 5, 7] зерттелген. Екі өлшемді теория аясында өткізгіш және өткізбейтін кедергілердің бірөлшемді мерзімді тізбектеріне жақын толқындардың таралуы зерттелді.

Жұмыста ұсынылған әдіс кіріс және шығыс композиттік материалдардың сапасын бақылаудың акустикалық әдісінің жаңа технологияларын әзірлеуге және жасауға негіз бола алады.

Осы технологиялардың көмегімен композиттердің құрамын ғана емес, сапасын да анықтауға болады. Айта кету керек, акустикалық әдістер компоненттердің көлемдік концентрациясын жоғары дәлдікпен анықтайды.

Математикалық тұжырым, фононды кристалдар әдісі

Барлық композициялық материалдар мен сәйкес гетерогенді орталар бір өлшемді мерзімді деп санауға ыңғайлы. Толқындардың бір өлшемді периодтық ортада таралуының маңызды ерекшелігі – тербеліс фазасы орта арқылы негізгі жасушалар арқылы таралады, ал негізгі жасушалардағы тербелістер амплитудалық фактор болып табылады.

Композит материалы – композит матрицасындағы арматуралық материал екі компоненттен тұратын гетерогенді бірөлшемді периодтық ортаның көмегімен сипатталсын $M_1 = \{c_1, \rho_1\}$ және $M_2 = \{c_2, \rho_2\}$ – тыныштық кезіндегі дыбыс жылдамдығы мен тығыздығы $p^{(1)}$ және $p^{(2)}$ 1-ші және 2-ші ортадағы қысымның акустикалық бұзылуы (немесе бойлық толқындардағы кернеу).

M_1 және M_2 орталары m ортасын толығымен толтырады деп саналады, осылайша $M+L=M$ – ортаның L -ге ауысуы оны өзіне аударады. Әрі қарай, түсінікті және ыңғайлы болу үшін қоршаған орта қоршаған ортаға қарағанда тығыз болады деп болжанады. Мұндай медианың мысалы – тоқылған преформа мен күшейтілген барлық композициялық материалдар. Тоқылған преформа әрдайым кеңістіктік жиілікке ие болады деп болжанады. L – Бірөлшемді периодтық ортаның ең кіші кеңістіктік кезеңі болсын.

Әрі қарай белгілер қолданылады $\tau = \rho_2 / \rho_1$ – тығыздықтың қатынасы, $k = c_1 / c_2$ – дыбыс жылдамдығының қатынасы, ω – тербелістердің дөңгелек жиілігі, $\lambda = \omega L / c_1$ – өлшемсіз тербеліс жиілігі. Өлшемсіз кеңістіктік айнымалылар қолданылады $\hat{x} = x / L$, әрі қарай қақпақ төмен түсірілген. Бұл айнымалыларда ортаның ең кіші кеңістіктік кезеңі бірлікке тең.

Жұмыста барлық жерде индекс j қоршаған

ортаға қатысты M_j , $j = 1, 2$. Ұзындығы бірлікке тең ортаның (композиттің) бөлігі іргелі жасуша деп аталады.

Сандық-аналитикалық зерттеудің әдістемесі

Су және ауа

Бұл бөлімде төмен жиіліктер мен ұзын толқындар үшін полидисперстік композит компоненттерінің концентрациясын акустикалық өлшеуге әсер етпейтіндігі көрсетілген. Композиттердің сапасын бақылау дәлдігіне полидисперстің әсерін зерттеу сипатталған [1, 3, 10]. Өлшемсіз жиіліктің кіші мәндері үшін w тікелей есептеу арқылы дисперсиялық қатынастардан шамамен немесе жеңілдетілген дисперсиялық қатынасты алуға болады. Сандық зерттеулер екікомпонентті су-ауа қоспасы үшін жүргізілді. Су үшін дыбыс жылдамдығы секундына 1400 метр, судың тығыздығы текше метрге 1000 килограмға тең.

$$\text{Қатынасы } k := \frac{S_{\text{water}}}{S_{\text{air}}}.$$

Жоғарыда сипатталған жылдамдық мәндері үшін $k := 4.081632653$ ауа тығыздығының суға қатынасы $\tau = 0.0012$.

Ауа-су полидисперсті қоспадағы ұзын толқындардың дисперсиялық қатынасы тек компоненттің концентрациясына байланысты және қоспаның тамшылары мен көпіршіктерінің полидисперсіне тәуелді емес:

$$w = \frac{1400 * \xi}{L} \sqrt{\frac{\tau}{(\chi\tau - (\chi - 1)\chi^2)((\chi - 1)\tau - \chi)}}. \quad (1)$$

Өлшемді айнымалылардағы қарапайым толқын пакеті үшін $k[\text{wave}]$ толқындық саны:

$$k[\text{wave}] = \frac{\xi}{L}. \quad (2)$$

Параметрлердің осы мәндері үшін, ұзын толқындардың жақындауында ауадағы судың сызықтық концентрациясы және су-ауа қоспасындағы акустикалық толқындардың фазалық жылдамдығы [4, 6] аналогы көрсетілген арақатынаспен байланысты:

$$\frac{249400021609}{70589400000000} U_{ph}^2 k - \frac{249682014109}{70589400000000} \times \times U_{ph}^2 k^2 + \frac{1}{235298} U_{ph}^2 - \frac{1}{2} = 0. \quad (3)$$

Осы арақатынастан $0 < k < 1$ үшін су-ауа қоспасындағы ұзын толқындардың фазалық жылдамдығы үшін айқын көрініс алуға болады.

$$U_{ph} := \frac{10290000}{\sqrt{-749046042327\chi^2 + 748200064827\chi + 900000000}}. \quad (4)$$

Су-ауа қоспасындағы акустикалық фазалық жылдамдықтың тәуелділігін графиктің көмегімен сипаттауға болады.

Жоғарыда келтірілген өрнектердің көмегімен

концентрация қоспадағы дыбыс жылдамдығының көмегімен екі таңбалы түрде анықталатынын атап өткен жөн. Бір мәнді таңдау үшін қоспаның бір көлемін өлшеу қажет [3, 4, 5, 10]. 1-суретте ауадағы судың немесе судағы ауаның үлкен көлемді концентрациясы бар қоспалар үшін концентрацияны анықтауға бір мәнді таңдау жасауға мүмкіндік береді.

Су-ауа қоспаларындағы дыбыс жылдамдығының негізгі аномалиясы

Гетерогенді су-ауа қоспасы үшін қоспада минималды акустикалық жылдамдық бар. Жоғарыда аталған параметрлер үшін бұл жылдамдық секундына метрмен көрсетіледі.

Ұзын толқындар үшін қоспадағы дыбыстың минималды жылдамдығының мәні $k^*=0$ қоспасындағы судың сызықтық концентрациясының мәні кезінде қол жеткізіледі $k^*=4994352967$. Қоспадағы дыбыстың минималды жылдамдығы ауадағы дыбыс жылдамдығынан аз және судағы дыбыс жылдамдығынан 2 есе аз [7, 8].

Кіші және үлкен концентрациялар үшін су-ауа қоспаларындағы дыбыс жылдамдығының шекті ауытқулары

Ауадағы судың кіші және үлкен сызықтық концентрациясы өте жиі кездеседі.

Тұман. Ауадағы судың төмен сызықтық концентрациясы.

Мұнда графикадағы экстремалды концентрация – 1 метр ауаға 1,5 миллиметр су 2-суретте көрсетілген.

Мысалдар:

$*k=$ қоспаның 1 метріндегі судың 1/10 мм, қоспаның дыбыс жылдамдығы секундына 330 метр.

$*k=$ қоспаның 1 метрінде 1,0 мм су, қоспаның дыбыс жылдамдығы секундына 253 метрге тең.

$*k=$ қоспаның 1 метрінде 1,5 мм су, қоспаның дыбыс жылдамдығы секундына 229 метрге тең.

Жылдамдық төмендеген кезде тұман қабаты толқын өткізгіш ретінде жұмыс істей бастайды. Бұл «тұмандағы мүйіздің» жақсы таралуын түсіндіреді.

Газдалған немесе газдалған су қабаты. Бұл құбылыс ашық судың жоғарғы қабаттарында (аэрация), балдырлар немесе организмдердің қабаттарында кездеседі.

Мысалдар:

$*k=0,9999$, қоспаның 1 метріндегі ауаның 1/10 мм, қоспаның дыбыс жылдамдығы секундына 906 метрге тең.

$*k=0,999$, қоспаның 1 метріндегі 1,0 мм ауа, қоспаның дыбыс жылдамдығы секундына 363 метрге тең.

$*k=0,9985$, қоспаның 1 метріндегі 1,5 мм ауа, қоспаның дыбыс жылдамдығы секундына 230 метрге тең, ол 3-суретте көрсетілген.

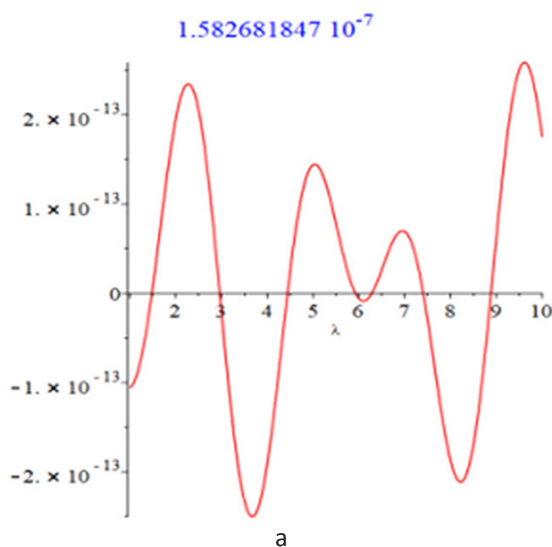
Алынған нәтижелер және оларды талқылау

1. Фононды кристалдағы өлшенген дыбыс жылдамдығын қолдана отырып, гетерогенді екікомпонентті орта компоненттерінің (фононды кристалл) сызықтық және көлемдік концентрациясын анықтау үшін таза кері мәселенің нақты шешімдері алынды.

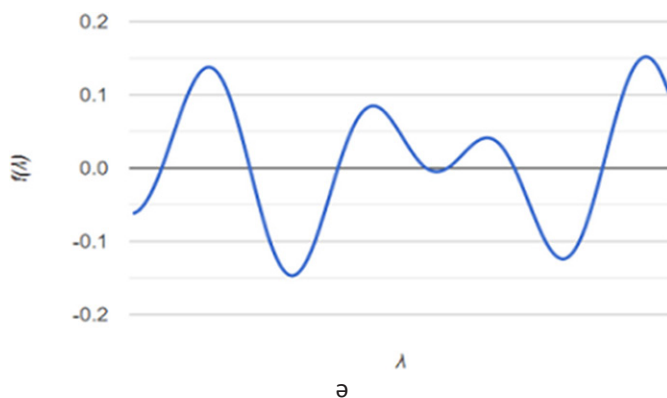
2. Компоненттің полидисперілігі ұзын толқындардың көмегімен алынған нәтижелерге айтарлықтай әсер етпейді.

3. Алынған нәтижелер, акустикалық өлшеулер мыналарды жүзеге асыруға мүмкіндік береді: кез-келген екі компонентті өнім үшін компоненттің кіріс және шығыс концентрациясын бақылау; дұрыс сақталмау процесінде газ шығару мен байланысты химиялық процестер орындалуы мүмкін өнімдердің сапасын бақылау (мысалы, қышқыл сүтті ашытылған ет).

4. Қоспа үшін су ауа қалыпты жағдайда компоненттің концентрациясына байланысты аку-



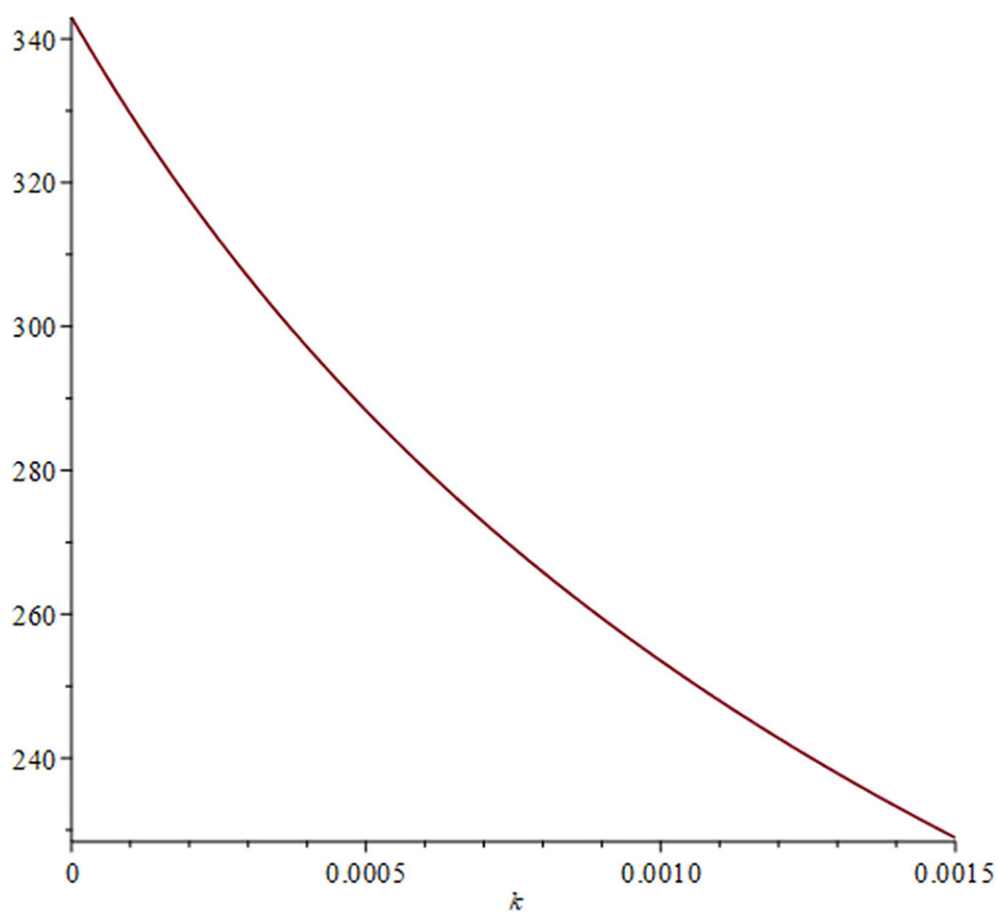
а



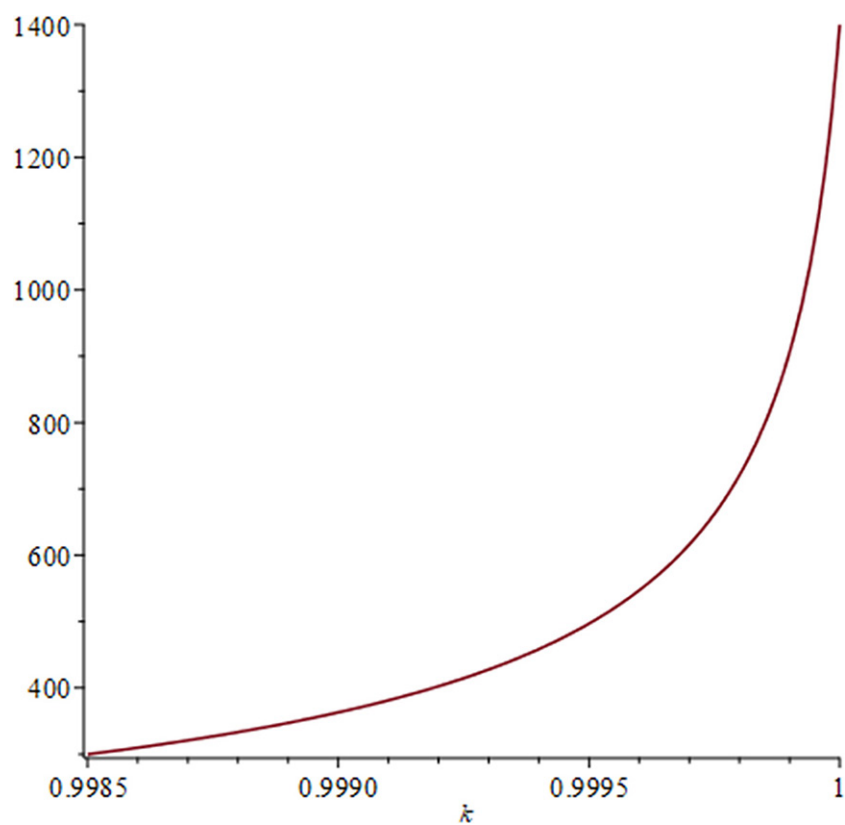
ә

а – су ауа өткізу жолағы; ә – әртүрлі конденсация үшін.

1-сурет – Ауа су үшін өткізу жолағының графигін әртүрлі концентрация үшін аналитикалық есептеу



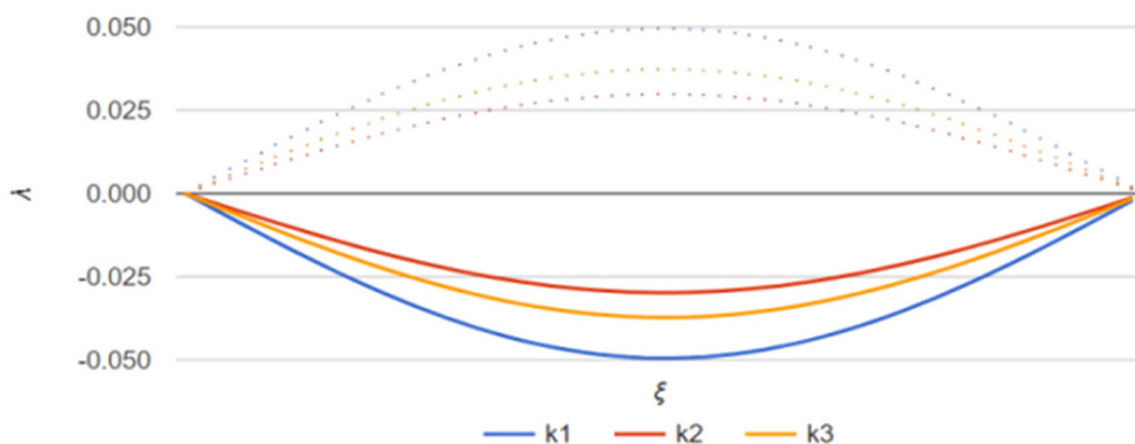
2-сурет – Акустикалық жылдамдықтың судың төмен концентрациясына тәуелділік графигі
Ескерту – С жүйесіндегі жылдамдықтар. Ауадағы судың аз концентрациясы үшін (тұман)



3-сурет – Акустикалық жылдамдықтың судағы ауаның төмен концентрациясына тәуелділік графигі

стикалық жылдамдықтың ауытқуы анықталады [9]. Сызықтық концентрация шамамен $\frac{1}{2}$ үшін дыбыс жылдамдығы секундына 24 метрге жетеді. Бұл жылдамдық ауадағы дыбыс жылдамдығынан 14 есе, судағы дыбыс жылдамдығынан 58 есе аз.

5. Жұмыс нәтижелерін композиттік материалдарының сапасын бақылау [4, 6], гетерогенді қоспаларды тексеру және болжамды қасиеттері бар жаңа материалдар жасау үшін пайдалануға болатыны 3-, 4-суреттерде көрсетілген.



4-сурет – Әртүрлі концентрация үшін фаза жылжуының өз мәнінен тәуелділігі
Ескерту – С жүйесіндегі жылдамдықтар. Судағы ауаның төмен концентрациясы үшін қоспаның дыбыс жылдамдығына қатты әсерін атап өткен жөн

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Bao J., Shi Z.F., Xiang H.J. Dynamic responses of a structure with periodic foundations // Journal of Engineering Mechanics. – 2012. – Vol. 138. – pp. 761-769.
2. Brun M., Movchan A.B., Jones I.S. Phononic band gap systems in structural mechanics: Finite slender elastic structures and infinite periodic waveguides. Journal of Vibration and Acoustics. – 2013. – Vol. 135. – pp. 041013-1-041013-9.
3. Konstantinov A.P., Sukhinin S.V., Yurkovskiy V.S. Wave transmission and reflection at the boundary of phononic crystals // J. Phys. conf. ser. – 2017. – Vol. 894. – pp. 012094-1-012094-7.
4. Saimanova Z.B., Sukhinin S.V., Zhumadillaeva A.K. Wave transmission and reflection from the boundary of phononic crystal – homogeneous medium. Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2020. – Vol. 8, Issue 1. – pp. 62-75.
5. Gavriluk S.L., Makarenko N.I., Sukhinin S.V. Waves in Continuous Media. – Cham: Springer International Publishing, 2017. – 141 p.
6. Saimanova Z.B., Zhumadillaeva A.K., Sukhinin S.V. et al. Acoustic method of quality control of two-component composite material. Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(24). – pp. 11594-1-11594-16.
7. Сайманова З.Б., Сухинин С.В., Жумадилаева А.К. Фононды кристалдар шекарасындағы толқындардың берілуі мен бейнеленуі. ҚазҰТУ хабаршысы. – 2020. – № 6 (130). – Б. 373-376.
8. Сайманова З.Б., Сухинин С.В., Жумадилаева А.К. Гетерогенді екікомпонентті өнімдер қоспасының құрамын акустикалық бақылау. ҚазККА хабаршысы. – 2020. – № 4 (115). – Б. 348-353.
9. Сайманова З.Б., Сухинин С.В., Жумадилаева А.К. Дыбыссіңіргіш және дыбысшағылыстыратын материалдарды оңтайландыру. «КАХАК» ҒТҚ жаңалықтары. – 2020. – № 4 (71). – Б. 42-48.
10. Сайманова З.Б., Сухинин С.В., Жумадилаева А.К. Қабатты гидрооқшаулағыш ортадағы акустикалық толқындар. Жас ғалым Халықаралық ғылыми журнал. – 2020. – № 10 (300). – Б. 109-115.

Программно-аналитический анализ акустического метода контроля качества двухкомпонентных композитных материалов

¹*САЙМАНОВА Загира Бекетаевна, магистр, старший преподаватель, zagira@mail.ru,

¹МУХАМЕТЖАНОВА Бигуль Олжабаевна, магистр, старший преподаватель, grek79@mail.ru,

¹СУЛЕЙМЕН Айнұр Елубайқызы, магистр, старший преподаватель, ai-box@mail.ru,

¹САГАТБЕКОВА Динара Ермаковна, магистр, преподаватель, dinara.sagatbkova@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В данной работе описаны акустические методы неразрушающего контроля для определения концентрации компонентов (матричного и армирующего материала) в двухкомпонентном неоднородном

композиционном материале. Особенностью акустических методов неразрушающего контроля является дешевизна, эффективность, возможность автоматизации измерений. Акустические измерения являются очень важным методом и примером методов контроля без нарушения состава гетерогенной среды. Через часть рабочей области вводятся все входные данные, выполняются расчеты нажатием соответствующих командных кнопок и обнаруживаются искомые выходные данные. На основе выявленных данных можно построить программные модели, позволяющие вычислять волновые явления в неоднородных средах различными примерами, строить графики расчета истинных низких частот, выбирать эффективный метод с использованием разнородных концентратов.

Ключевые слова: алгоритм, методика, программирование, автоматизация измерений, графики расчета, концентрация, измерения, композитные материалы, волновые явления, гетерогенная среда.

Software-analytical Analysis of the Acoustic Method of Quality Control of Two-component Composite Materials

¹*SAIMANOVA Zagira, Master, Senior Lecturer, zagira@mail.ru,

¹MUKHAMETZHANOVA Bigul, Master, Senior Lecturer, grek79@mail.ru,

¹SULEIMEN Ainur, Master, Senior Lecturer, ai-box@mail.ru,

¹SAGATBEKOVA Dinara, Master, Lecturer, dinara.sagatbkova@mail.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

*corresponding author.

Abstract. This paper describes acoustic methods of non-destructive testing to determine the concentration of components (matrix and reinforcing material) in a two-component heterogeneous composite material. The peculiarity of acoustic methods of non-destructive testing is cheapness, efficiency, and the possibility of automation of measurements. Acoustic measurements are a very important method and an example of control methods without disturbing the composition of a heterogeneous medium. All input data is entered through a part of the workspace, calculations are performed by pressing the appropriate command buttons and the desired output data is found. Based on the revealed data, it is possible to build software models that allow calculating wave phenomena in inhomogeneous media with various examples, plotting the calculation of true low frequencies, and choosing an effective method using heterogeneous concentrates.

Keywords: algorithm, methodology, programming, measurement automation, calculation schedules, concentration, measurements, composite materials, wave phenomena, heterogeneous environment.

REFERENCES

1. Bao J., Shi Z.F., Xiang H.J. Dynamic responses of a structure with periodic foundations // Journal of Engineering Mechanics. – 2012. – Vol. 138. – pp. 761-769.
2. Brun M., Movchan A.B., Jones I.S. Phononic band gap systems in structural mechanics: Finite slender elastic structures and infinite periodic waveguides. Journal of Vibration and Acoustics. – 2013. – Vol. 135. – pp. 041013-1-041013-9.
3. Konstantinov A.P., Sukhinin S.V., Yurkovskiy V.S. Wave transmission and reflection at the boundary of phononic crystals // J. Phys. conf. ser. – 2017. – Vol. 894. – pp. 012094-1-012094-7.
4. Saimanova Z.B., Sukhinin S.V., Zhumadillayeva A.K. Wave transmission and reflection from the boundary of phononic crystal – homogeneous medium. Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2020. – Vol. 8, Issue 1. – pp. 62-75.
5. Gavriluk S.L., Makarenko N.I., Sukhinin S.V. Waves in Continuous Media. – Cham: Springer International Publishing, 2017. – P. 141.
6. Saimanova Z.B., Zhumadillaeva A.K., Sukhinin S.V. et al. Acoustic method of quality control of two-component composite material. Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(24). – pp. 11594-1-11594-16.
7. Saimanova Z.B., Sukhinin S.V., Zhumadillayeva A.K. Fonondy kristaldar shekarasyndagy tolqyndardyr berilui men beinelenui. Qazutu habarshysy. – 2020. – No. 6 (130). – pp. 373-376.
8. Saimanova Z.B., Sukhinin S.V., Zhumadillayeva A.K. Geterogendi ekikomponentti onimder qospasynyn quramyn akustikalыq baqylau. Qazkka habarshysy. – 2020. – No. 4 (115). – pp. 348-353.
9. Saimanova Z.B., Sukhinin S.V., Zhumadillayeva A.K. Dybyssinirgish jane dybysshagylыstyratyn materialdardy ontailandyru. «KAHAK» GTQ janalyqtary. – 2020. – No. 4 (71). – pp. 42-48.
10. Saimanova Z.B., Sukhinin S.V., Zhumadillayeva A.K. Qabatty gidrooqshaulagysh ortadagy akustikalыq tolqyndar. Jas galym Halyqaralyq gylыmi jurnal. – 2020. – No. 10 (300). – pp. 109-115.