

6. Trufiyakov V. I. Ustalost' svarny'x soedinenij. – Kiev: Nauk. dumka, 1973. – 215 s.
7. DSTU 3761.3–98. Zvariuvannia ta sporidneni protsesy. Chastyna 3. Zvariuvannia metaliv: ziednannia ta shvy, tekhnolohiia, materialy ta ustatkuvannia. Terminy ta vyznachennia. – Kyiv: Derzhavnyi komitet standartyzatsii metrolohii ta sertyfikatsii Ukrainy, 1999. – 54 s.
8. Maxnenko V. I. Resurs bezopasnoj e'kspluatatsii svarny'x soedinenij i uzlov sovremenny'x konstrukcij. – Kiev: Nauk. dumka, 2006. – 620 s.
9. V. I. Savulyak, S. A. Zabolotny'j, D. V. Bakalecz Minimizaciya deformacij i teplovy'x vozdejstvij v ramny'x konstrukciyax pri privarivanii nakladok dlya usileniya // Naukovi pratsi VNTU: sb. Mashinostroenie i transport. – 2012. – # 4 – S. 1–6.
10. Arcibasheva N. M. Izmenenie napryazhenij v rame pricepa pri razvitii povrezhdenij / N. M. Arcibasheva, D. S. Dereshov, N. M. Pankratov // Trudy' Odesskogo politexnicheskogo universiteta. – Odessa, 2004. – Vy'p. 2(22). – S. 40–43.
11. Arcibasheva N. M. Prognozirovanie resursa ramy' pricepa. / N. M. Arcibasheva, D. S., Dereshov O. M. Belecckaya // Trudy' Odesskogo politexnicheskogo universiteta. – Odessa, 2007. – Vy'p. 2(28). – S. 50–53.
12. Teoretychni osnovy ta rozrakhunky ekspluatatsiinykh vlastyvostei spetsializovanoho rukhomoho skladu : navchalnyi posibnyk ; za zah. red. T. M. Melenchuk / T. M. Melenchuk, N. M. Artsybasheva, L. M. Petrov, P. M. Pavlishyn, V. M. Melenchuk. – Odesa : Chornomoria, 2018. – 104 s.
13. Arcibasheva N. M. Vliyanie strukturnogo faktora na ustalostnoe razrushenie svarny'x shvov / N. M. Arcibasheva, O. M. Belecckaya // Trudy' Odesskogo politexnicheskogo universiteta. – Odessa, 2008. – Vy'p. 2 (30). – S. 52–55.
14. Palash R. V. Vyznachennia ratsionalnykh faktoriv vplyvu na zalyshkovi napruzhenia v zvarnykh ziednanniakh konstruktzii iz vysokomitsnykh stalei / R. V. Palash // Naukovyi visnyk UkrDLTU : zb. nauk.-tekhn.prats. – Lviv : UkrDLTU. – 2006. – # 16.6. – S. 87–89.

Надійшла до редакції 26.11.2018

УДК 534.29+539.5

В. А. Машенко¹, к.ф.-м.н. **В. П. Квасніков²**, д.т.н.

¹Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

²Київський національний авіаційний університет, м. Київ

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ПРОХОДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ ЧЕРЕЗ ЗАНУРЕНУ У РІДИНУ ПЛАСТИНУ

В статті представлені теоретичні розрахунки коефіцієнтів відбивання та прозорості для ультразвукової хвилі, що падає на поверхню пластини, зануреної в рідину. Розраховані критичні кути падіння ультразвукової хвилі з рідини, при яких у пластині з полімерних матеріалів, що мають різні за знаком та величиною значення коефіцієнта Пуассона, поширюється тільки поперечна хвиля. Проаналізовані умови повного відбивання для падаючої хвилі та прозорості для поперечної хвилі при критичних кутах падіння. Визначені товщини пластини для полімерних матеріалів, при яких відбувається повне відбивання та повне проходження падаючої хвилі.

Ключові слова: ультразвукові хвилі, коефіцієнт Пуассона, іммерсійний метод, коефіцієнти відбивання та прозорості.

В. А. Машенко, к.ф.-м.н., **В. П. Квасніков**, д.т.н.,

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПРОХОЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ ПОГРУЖЕННУЮ В ЖИДКОСТЬ ПЛАСТИНУ

В статье представлены теоретические расчеты коэффициентов отражения и прозрачности для ультразвуковой волны, падающей на поверхность пластины, погруженной в жидкость. Произведен расчет критических углов падения ультразвуковой волны, при которых в пластине с полимерных материалов, что имеют различные за знаком и величиной значения коэффициента Пуассона, распространяется только поперечная волна. Проанализированы условия полного отражения для падающей волны и прозрачности для поперечной волны при критических углах падения. Определены толщины пластины для полимерных материалов, при которых происходит полное отражение и полное прохождение падающей волны.

Ключевые слова: ультразвуковые волны, коэффициент Пуассона, иммерсионный метод, коэффициенты отражения и прозрачности.

V. A. Mashchenko, PhD, V. P. Kvasnikov, DSc

ANALYSIS OF PARAMETERS OF THE MODEL OF ULTRASONIC WAVES PASSAGE THROUGH THE PLATE SHIPPED INTO LIQUID

The physical-mathematical model of the fall of an ultrasonic wave falling on the surface of a plate immersed in a liquid has been considered. The parameters of the model are the angle of incidence of the ultrasonic wave, the reflection and transparency coefficients for the incident wave and the thickness of the plate. This model is a theoretical basis for the practical implementation of the immersion method for measuring the velocities of propagation of longitudinal and transverse waves in samples of different materials. According to the experimental results of the propagation velocities of the longitudinal and transverse waves, the Poisson's ratio of the material is determined. The materials of a typical plate are polymers that have different Poisson ratio in sign and magnitude. If the angle of incidence does not exceed the corners of the total internal reflection on the boundary of the liquid – solid for the longitudinal and transverse waves propagation in the plate, then the reflection and transparency coefficients are the real numbers. In this case, the squares of the modules of these quantities are the reflection and transparency coefficients of the energy of the wave. For the incident ultrasonic wave, reflection and transparency coefficients are calculated, depending on the angle of the incidence, the thickness of the plate and the material of the plate. The analysis of the obtained results shows that the functional dependences of the energy coefficients of reflection and transparency are clearly expressed maxima and minima at different angles and plate thickness. For this purpose, the conditions for full reflection for incident waves and transparency for a transverse wave at critical angles of incidence are analyzed. The critical angles of fall of an ultrasonic wave from a liquid are calculated, under which in a plate only a transverse wave propagates. Determined thickness of the plate for polymeric materials, in which there is a complete reflection and full passage of the incident wave.

Keywords: ultrasonic waves, Poisson's ratio, immersion method, reflection and transmission coefficients.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-2-13-27-32

Вступ

В сучасному приладобудуванні важливим фактором є вимірювання механічних характеристик (коефіцієнт Пуассона, пружні модулів) конструкційних полімерних матеріалів. Найбільш інформативними параметрами, які дозволяють оцінити механічні характеристики полімерного матеріалу як твердого тіла за співвідношеннями теорії пружності, є швидкості поширення акустичних ультразвукових (УЗ) коливань різного типу, зокрема поздовжніх (l) та поперечних (t). Для визначення швидкостей поширення таких хвиль використовується іммерсійний метод, який дозволяє за один прийом виміряти значення поздовжньої (v_l) та поперечної (v_t) хвиль.

Аналіз останніх публікацій

Іммерсійний метод вимірювань швидкостей поширення поздовжніх і поперечних хвиль в запропонований в ряді робіт [1–6] і ґрунтується на проходженні УЗ-хвиль через зразок, занурений у рідину. В роботі [7] аналізуються переваги та недоліки іммерсійної техніки і вказується на можливість реєстрації параметрів пружних коливань, що створюються у досліджуваному об'єкті, при гідростатичному навантаженні.

Умова хорошого акустичного контакту між рідиною і зразком, як правило, виконується автоматично. Це дає змогу вважати зразок еквівалентним відрізком визначеної довжини, навантаженим на обох його кінцях на опір, рівний

хвильовому опору рідини. При достатньо великому коефіцієнті затухання УЗ-хвиль в зразку можна розділити прямий і відбитий сигнал, якщо виключити можливість виникнення стоячих хвиль [1, 4–5]. Якщо затухання у зразку недостатнє для того щоб виключити вплив відбивань у всередині зразка, то потрібно розділяти в часі прямий і відбитий сигнали. При цьому кількість вкладених по товщині зразка довжини хвиль внаслідок інтерференції падаючої і відбитої хвиль та хвиль, що пройшли через зразок, визначає коефіцієнти відбивання та прозорості.

В роботах [8–10] визначенні механічні характеристики матеріалів на основі швидкостей поширення ультразвукових коливань.

Дослідження процесів відбивання і прозорості акустичних хвиль через пластину проведені в роботах [11–13] для матеріалів із додатнім значенням коефіцієнта Пуассона (ν) не розглядають випадки з $\nu < 0$.

Мета дослідження. Провести розрахунок коефіцієнтів відбивання та прозорості для пластини, зануреної у рідину, в залежності від кута падіння УЗ-хвилі та коефіцієнта Пуассона матеріалу. Визначити товщини пластини при максимальних значеннях коефіцієнтів відбивання та прозорості, коли у зразку поширюється тільки поперечна хвиля.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо пластину товщиною h , що роз-

міщена між двома рідкими середовищами з однаковими параметрами (ρ_1, v_1). Нехай на поверхню пластини з одного із півпросторів падає акустична хвиля під деяким кутом θ (рис. 1). На межі поділу рідина – тверде тіло виконується закон Снеліуса [1]:

$$\frac{\sin \theta}{v_1} = \frac{\sin \theta_t}{v_t} = \frac{\sin \theta_r}{v_t}, \quad (1)$$

де θ_t – кут між напрямком поширення поздовжньої хвилі в пластині і перпендикуляром в точку падіння, θ_r – кут між напрямком поширення поперечної хвилі в пластині і перпендикуляром в точку падіння.

Коефіцієнти відбивання (V) та прозорості (W) в такому випадку визначаються наступним чином [12]:

$$V = \frac{i(N^2 - M^2 - 1)}{2M + i(N^2 - M^2 + 1)}; \quad (2)$$

$$W = \frac{2N}{2M + i(N^2 - M^2 + 1)}, \quad (3)$$

$$\text{де } N = \frac{Z_{2t} \cos^2 2\theta_t}{Z_1 \sin P} + \frac{Z_{2t} \sin^2 2\theta_t}{Z_1 \sin Q},$$

$$M = \frac{Z_{2t}}{Z_1} \cos^2 2\theta_t \operatorname{ctg} P + \frac{Z_{2t}}{Z_1} \sin^2 2\theta_t \operatorname{ctg} Q;$$

$$Z_1 = \frac{\rho_1 v_1}{\cos \theta}; \quad Z_{2t} = \frac{\rho_2 v_t}{\cos \theta_t}; \quad Z_{2r} = \frac{\rho_2 v_t}{\cos \theta_r};$$

$$P = \frac{\omega h}{v_t} \cos \theta_t; \quad Q = \frac{\omega h}{v_t} \cos \theta_r;$$

ω – циклічна частота ультразвукової хвилі.

Якщо кут θ не перевищує кутів повного внутрішнього відбивання на межі рідина – тверде тіло для поздовжніх та поперечних хвиль, то величини M і N є дійсними і для коефіцієнтів відбивання та прозорості за енергією хвилі отримаємо:

$$|V|^2 = \frac{(N^2 - M^2 - 1)^2}{4M^2 + (N^2 - M^2 + 1)^2}; \quad (4)$$

$$|W|^2 = \frac{4N^2}{4M^2 + (N^2 - M^2 + 1)^2}. \quad (5)$$

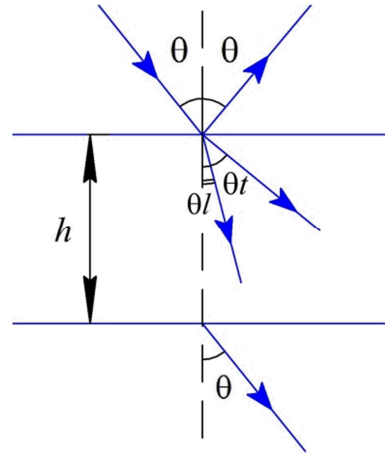


Рисунок 1—Схема відбивання і заломлення акустичних хвиль в пластині

Результати та обговорення.

Теоретичні розрахунки за співвідношеннями (4) та (5) проведені для різних полімерних матеріалів: полівінілхлориду (ПВХ) та термопластичного поліуретану (ТПУ), коефіцієнт Пуассона яких відрізняється величиною та знаком. Параметри полімерних матеріалів представлені в табл. 1. Модельною рідиною слугувало силіконове масло ПФМС – 4 ($\rho_1 = 1005,74 \text{ кг/м}^3$, $v_1 = 1395 \text{ м/с}$), що використовується як імерсійна рідина в експериментальній установці при вимірюваннях швидкостей поширення поздовжніх та поперечних хвиль в твердих тілах [5].

Коефіцієнт Пуассона при відомих швидкостях поширення v_l та v_t визначається за співвідношенням [14]:

$$\nu = \frac{2 - \left(\frac{v_l}{v_t}\right)^2}{2 \left(1 - \left(\frac{v_l}{v_t}\right)^2\right)}. \quad (6)$$

Аналіз отриманих результатів вказує на неоднозначний характер проходження акустичної хвилі через полімерну пластину із різним значенням величини ν в залежності від кута падіння θ . На діаграмах чітко виражені максимуми і мінімуми величин $|V|^2$ і $|W|^2$ при різних кутах і товщинах пластини (рис. 2 – рис. 5)

Таблиця 1 – Параметри полімерних матеріалів

Матеріал	$\rho_2, \text{кг/м}^3$	$v_l, \text{м/с}$	$v_t, \text{м/с}$	ν
ПВХ	1397	2310	1100	0,35
ТПУ	1107	1635	1415	– 1

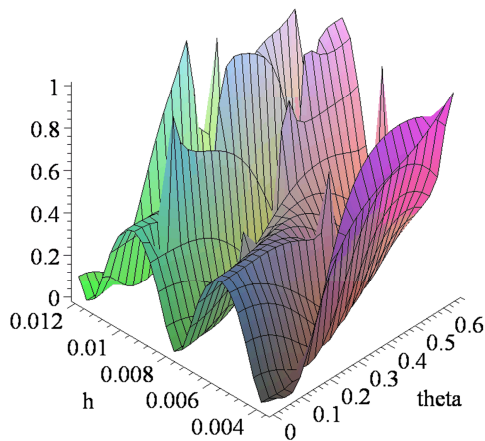


Рисунок 2—Залежність величини $|I|^2$ від кута падіння θ та товщини пластини h для ПВХ

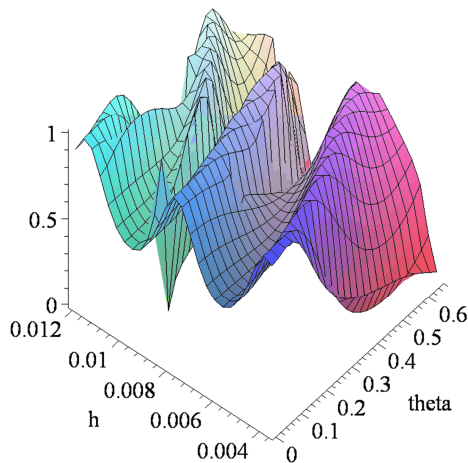


Рисунок 3—Залежність величини $|I|^2$ від кута падіння θ та товщини пластини h для ПВХ

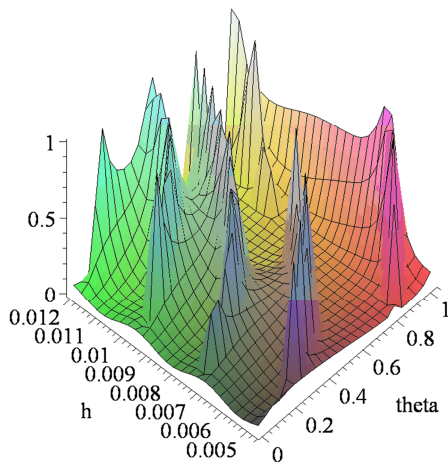


Рисунок 4—Залежність величини $|I|^2$ від кута падіння θ та товщини пластини h для ТПУ

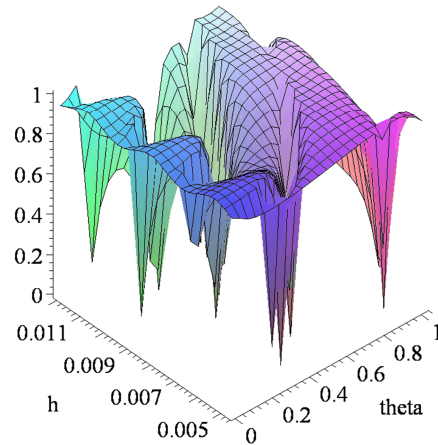


Рисунок 5—Залежність величини $|I|^2$ від кута падіння θ та товщини пластини h для ТПУ

Повне відбивання ($|I|^2 = 1$) при критичному куті $\theta_{кр}$ буде спостерігатися тоді, коли на шляху проходження поперечної УЗ-хвилі $\lambda_t / \cos \theta_t$ вкладається непарне число півхвиль. Товщину пластини в такому випадку можна визначити із співвідношення [12]:

$$h = \frac{(2n+1)\lambda_t}{2 \cos \theta_t}, \quad (7)$$

де $\lambda_t = 2\pi v_t / \omega$; $n = 0, 1, 2, \dots$.

Критичний кут падіння на межі рідина – тверде тіло визначається із співвідношення

$$\theta_{кр} = \arcsin \left(\frac{v_1}{v_t} \right). \quad (8)$$

Повну прозорість ($|I|^2 = 1$) пластини при проходженні акустичних УЗ-хвиль отримуємо за умови [12]

$$\rho_2 \omega h = 2Z_{2t} \operatorname{tg}^2 2\theta_t \operatorname{tg} \left(\frac{Q}{2} \right). \quad (9)$$

Теоретичні оцінки за співвідношенням (7) показують, що для ПВХ, при $\omega = 600$ КГц і $\theta_{кр} = 37,2^\circ$, товщини пластин рівні 2,1 та 6,31 мм, а для ТПУ, при $\theta_{кр} = 58,6^\circ$, відповідно, 4,63 та 13,88 мм.

Чисельний розв'язок рівняння (9) показує, що повна прозорість для зразка ПВХ при $\theta_{кр}$ буде при h рівних 5,9 та 10,3 мм, а для зразка ТПУ при $\theta_{кр}$, відповідно, 12,85 мм.

Величина критичного кута визначається відношенням швидкостей поширення поздовжніх хвиль у рідині і полімерному матеріалі. При зменшенні коефіцієнта Пуассона ν , швидкість v_t у

полімерах, як правило, зменшується. Відповідно, значення $\theta_{кр}$ зростає і збільшується товщина пластини h , при якій можливе повне відбивання або повне проходження для падаючої хвилі.

Так для повного відбивання приймаємо два значення h як для ПВХ так і ТПУ. Наступні розрахункові значення товщин пластини не відповідають геометричним параметрам модельного зразка матеріалу для експериментальних досліджень.

Відповідно, при повному проходженні поперечної хвилі в пластині, для ПВХ приймаємо два значення h , а для ТПУ – одне значення.

Окремо слід відмітити, що не кожна поперечна хвиля в пластині може відповідати повному проходженню акустичної хвилі через пластину. Поперечні хвилі в пластині, зміщення яких паралельні межі пластини, не зможуть трансформуватися в акустичну хвилю у рідині. Інші вільні хвилі в пластині можуть відповідати прозорості лише при комплексних кутах падіння акустичної хвилі.

Висновки

Теоретичні розрахунки параметрів моделі проходження акустичних УЗ-хвиль через пластину, занурену у рідину, можуть слугувати основою для визначення пружних параметрів за допомогою імерсійного методу при кутах повного відбивання і повної прозорості.

Список використаних джерел

1. Физическая акустика / Под ред. У. Мезон. Т. I. – М.: Мир, 1966. – 592 с.
2. Ginzle E. Determining Approximate Acoustic Properties of Materials / E. Ginzle, B. Turnbull. – Режим доступу: https://www.ndt.net/article/ndtnet/2016/17_Ginzle.pdf.
3. ASTM E494, Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials, ASTM Annual book of standard. – 2016. – V. 03.03. – Режим доступу: www.astm.org/BOOKSTORE/BOS/TOCS_2016/03.03.html.
4. Ohara Y. Detection of Internal Micro Defects Using Water Immersion / Y. Ohara, K Kawashima / Japanese Journal of Applied Physics. – 2004. – V. 43, – N. 5B. – P. 3119–3120.
5. Мащенко В. А. Експериментальна установка для вимірювання пружних параметрів гірських порід / В. А. Мащенко, О. О. Панчук, І. О. Садовенко, М. А. Бордюк // Вісник інженерної академії України. – 2012. – Вип. 3–4. – С. 60–64.
6. Ishii Y. Transmission of ultrasonic waves at

oblique incidence to composite laminates with spring-type interlayer interfaces / Y. Ishii, S. Biwa // J. Acoust. Soc. Am. – 2015. – V.138. – N. 5. – P. 2800–2810.

7. Булах І. О. Аналіз методів не руйнуючої дефектоскопії виробів з композиційних матеріалів / І. О. Булах, О. В. Глоба // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2013. – № 2 (65). – С. 36–42.

8. Pedersen P. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. Second Edition Spatial, Mechanical, Thermal, and Radiation Measurement. – CRC Press, 2014.

9. Buiochi F. Ultrasonic Characterization of Anisotropic Materials / F. Buiochi, M. Andrade, N. Perez, J. Adamowski // Comprehensive Materials Processing. – 2014. – V. 2. – P. 65–81.

10. Rokhlin S. I. Physical Ultrasonics of Composites / S. I. Rokhlin, D. E. Chimenti, P. B. Nagy. – Oxford University Press, New York, 2011. – P. 225–368.

11. Schoch A. Der Schalldurchgang durch Platten / A. Schoch // Acustica. – 1952. – B. 2. – H. 1. – S. 1–17.

12. Бреховский Л. М. Волны в слоистых средах / Л. М. Бреховский. – М.: Наука, 1973. – 343 с.

13. Губайдуллин А. А. Компьютерное моделирование волновых процессов в пористых средах / А. А. Губайдуллин, О. Ю. Болдырева // Вестник кибернетики. – 2016. – № 2. – С. 103–111.

14. Ландау Л. Д. Теория упругости / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1985. – 245 с.

References

1. Physical Acoustics / Ed W. Mason. T. I. – М.: Mir, 1966. – 592 с.
2. Ginzle E. Determining Approximate Acoustic Properties of Materials / E. Ginzle, B. Turnbull. – Режим доступу: https://www.ndt.net/article/ndtnet/2016/17_Ginzle.pdf.
3. ASTM E494, Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials, ASTM Annual book of standard. – 2016. – V. 03.03. – Режим доступу: www.astm.org/BOOKSTORE/BOS/TOCS_2016/03.03.html.
4. Ohara Y. Detection of Internal Micro Defects Using Water Immersion / Y. Ohara, K Kawashima / Japanese Journal of Applied Physics – 2004. – V. 43, – N. 5B. – P. 3119–3120.
5. Mashchenko V. A. Experimental device for measuring the elastic parameters of rocks /

V. A. Mashchenko, O.O. Panchuk, I.O. Sadovenko, M. A. Borduk // Bulletin of Engineering Academy of Ukraine, – 2012. Iss. 3–4, P. 60–64.

6. Ishii Y. Transmission of ultrasonic waves at oblique incidence to composite laminates with spring-type interlayer interfaces / Y. Ishii, S. Biwa // J. Acoust. Soc. Am. – 2015. – V.138. – N. 5. – P. 2800–2810.

7. Bulakh I. O. The analysis of methods of non-destructive flaw detection of the products from composite materials / I. O. Bulakh, O. V. Hloba // Visnyk of Chernihiv State Technological University. – 2013. – N 2 (65). – P. 36–42.

8. Pedersen P. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. Second Edition Spatial, Mechanical, Thermal, and Radiation Measurement. – CRC Press, 2014.

9. Buiochi F. Ultrasonic Characterization of Anisotropic Materials / F. Buiochi, M. Andrade,

N. Perez, J. Adamowski // Comprehensive Materials Processing. – 2014. – V. 2. – P. 65–81.

10. Rokhlin S. I. Physical Ultrasonics of Composites / S. I. Rokhlin, D. E. Chimenti, P. B. Nagy. – Oxford University Press, New York, 2011. – P. 225–368.

11. Schoch A. Der Schalldurchgang durch Platten / A. Schoch // Acustica. – 1952. – B. 2. – H. 1. – S. 1–17.

12. Brehovsky L. M. Waves in layered media / L. M. Brehovsky. – M.: Nauka, 1973. – 343 p.

13. Gubaidullin A. A. Computer modeling of wave processes in porous media / A. A. Gubaidullin O. Yu. Boldyreva // Proceedings in cybernetic. – 2016. – N 2. – P. 103–111.

14. Landau L. D. Theory of Elasticity / L. D. Landau, E. M. Lifshitz. – M.: Nauka, 1985. – 245 p.

Надійшла до редакції 27.10.2018

УДК 534.111

Л. В. Коломієць¹, д.т.н., О. М. Лимаренко², к.т.н.

¹Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

²Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

КОМП'ЮТЕРНИЙ ТА НАТУРНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА

У роботі розглянуто підхід до оцінки залишкового ресурсу вантажопідйомних машин, що знаходяться тривалий час в експлуатації, на базі математичного моделювання з використанням методу скінченних елементів для визначення полів напружень та виявлення найбільш небезпечних зон. Для отримання реальних навантажень, що виникають в металоконструкціях перевантажувачів проведено натурний експеримент шляхом використання тензометрії при максимально можливому їх навантаженні з подальшим порівнянням отриманих даних з розрахунковими. На підставі отриманих результатів зроблені висновки про поточний стан металоконструкцій окремої вантажопідйомної машини та про умови можливості подальшої експлуатації металоконструкції розглянутих причальних контейнерних перевантажувачів. Визначено ресурс роботи крану.

Ключові слова: підйомно-транспортна машина, метод скінченних елементів, експеримент натурний, експеримент комп'ютерний, напруження, деформації, розрахунок, вимірювання.

Л. В. Коломиец, д.т.н., А. М. Лимаренко, к.т.н.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ И НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ

В работе рассмотрен подход к оценке остаточного ресурса грузоподъемных машин, находящихся длительное время в эксплуатации, на базе математического моделирования с использованием метода конечных элементов для определения полей напряжений и выявления наиболее опасных зон. Для получения реальных нагрузок, возникающих в металлоконструкциях перегружателей проведен натурный эксперимент путем использования тензометрии при максимально возможном их нагружении с последующим сравнением полученных данных с расчетными. На основании полученных результатов сделаны выводы о текущем состоянии металлоконструкций отдельной грузоподъемной