

DOI: 10.32347/2076-815x.2020.74.360-369

УДК 534.29+539.5

к.т.н., професор **Човнюк Ю.В.**,  
uchovnyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0608-0203,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
доцент **Чередніченко П.П.**, petro\_che@ukr.net, ORCID: 000-0001-7161X,  
к.т.н., доцент **Остапущенко О.П.**,  
olga\_ost\_17@ukr.net, ORCID : 0000-0001-8114-349X,  
к.т.н., доцент **Кравчук В.Т.**, vtk1@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5213-3644,  
**Кравченко І.М.**, kim-ua@bigmir.net, ORCID: 0000-0001-7077-1546,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## НОВИЙ МЕТОД АКУСТИЧНО-ХВИЛЬОВОГО АНАЛІЗУ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЛІМЕРБЕТОННИХ ДОРОЖНИХ ПОКРИТТІВ

*Розглянута задача відбивання поздовжніх і поперечних хвиль від межі рідини та однорідного пружного середовища полімербетонного покриття автомобільних доріг - з урахуванням, що при цьому в рідині збуджується поздовжня акустична хвиля. Оскільки розподіл енергії між падаючою, відбитою, трансформованою та збудженою хвилями визначається структурно-механічними параметрами середовищ (густиною, швидкостями поширення поздовжньої та поперечної хвиль) відповідно до коефіцієнта Пуассона, то для моделювання такого пружного середовища, як дорожній одяг, використаний матеріал, який належить до класу гетерогенних та конструктивних матеріалів під загальною назвою "ауксетик", котрі мають від'ємний коефіцієнт Пуассона. В результаті досліджень були визначені амплітуди потенціалів відбитих та трансформованих акустичних хвиль у пружному ауксетик-середовищі та амплітуди потенціалів збудження акустичної хвилі у рідині, що покриває полімербетонне покриття дороги. Було доведено, що характер залежностей коефіцієнтів відбивання, трансформації та збудження при падінні поздовжньої та поперечної хвиль на межу поділу ауксетик-середовища та рідини залежить від коефіцієнта Пуассона та акустичних жорсткостей контактуючих середовищ. Обґрунтовані умови виникнення критичних кутів в залежності від фізичних параметрів цих середовищ.*

*Отримані в роботі результати можна в подальшому використати для вдосконалення і уточнення інженерних методів розрахунку параметрів діагностичної апаратури, яка застосовується для визначення термпружного стану дорожнього одягу, як на стадії проектування і конструювання подібних приладів, так і в умовах їх реальної експлуатації.*

*Ключові слова:* поздовжня та поперечна акустичні хвилі; ауксетик-середовище; коефіцієнт відбивання; трансформації та збудження акустичних хвиль; структурно-механічні параметри; полімербетонне дорожнє покриття.

**Постановка проблеми.** При падінні поздовжньої ( $l$ ) та поперечної ( $t$ ) акустичних хвиль на межу рідини і пружного середовища, наприклад, полімербетонного покриття автомобільних доріг, крім відбитих і трансформованих хвиль в останньому, у рідині збуджується поздовжня акустична хвиля. Розподіл енергії між падаючою, відбитою, трансформованою та збудженою хвилями визначається структурно-механічними параметрами середовищ: густиною ( $\rho$ ), швидкостями поширення поздовжньої ( $v_l$ ) та поперечної ( $v_t$ ) хвиль, відповідно до коефіцієнта Пуассона ( $\nu$ ) пружного середовища, і кутом падіння акустичної хвилі із пружного середовища [1].

На сьогодні відомий цілий клас гетерогенних та конструктивних матеріалів, які мають від'ємний коефіцієнт Пуассона т.з. "ауксетики". Теоретичні та експериментальні дослідження процесів поширення різного типу акустичних хвиль у подібних матеріалах мають прикладне значення у багатьох областях науки і техніки, зокрема, у механіці деформованого тіла за умови динамічних та імпульсних навантажень [2], метрології та дефектоскопії при розробці приладів та систем для вимірювання механічних величин, акустично-хвильового аналізу (полімербетонних) покриттів автомобільних доріг [3].

**Аналіз останніх публікацій по темі дослідження.** Детальні теоретичні дослідження процесів відбивання пружних хвиль від вільної поверхні твердих тіл проведені у роботах [1, 4-6] для всього діапазону можливих значень величини  $\nu$  ( $-1 \leq \nu \leq 0,5$  [7]). Для задачі падіння поздовжньої та поперечної хвиль на межу рідини і твердого тіла в роботі [8] проведені розрахунки коефіцієнтів відбивання, трансформації хвиль та коефіцієнту збудження поздовжньої хвилі у рідині в залежності від величини  $\nu_l$  та  $\nu_t$  та кутів їх падіння тільки додатніх значень коефіцієнта Пуассона пружного середовища (у подальшому цим терміном будемо визначати й полімербетонне покриття автомобільної дороги).

Теоретичні та експериментальні дослідження процесів відбивання та збудження пружних хвиль на межі рідини і твердого тіла проведені у діапазоні додатніх значень коефіцієнта Пуассона і не розглядають випадки з  $\nu < 0$ .

**Мета роботи** полягає у встановленні закономірностей відбивання та трансформації хвиль акустичного типу, визначенні коефіцієнту збудження поздовжньої хвилі в залежності від величини коефіцієнта Пуассона  $\nu$  пружного ауксетик-середовища, що моделює пружні властивості полімербетонного покриття автомобільних доріг, контактуючого з водою.

### Виклад основного змісту дослідження.

Розглянемо задачу падіння плоскої хвилі із пружного середовища з від'ємним коефіцієнтом Пуассона на ложу поділу із рідиною. Плоска монохроматична пружна хвиля, хвильовий вектор якої лежить в площині  $XZ$ , в однорідному пружному середовищі може бути представлена двома скалярними функціями координат без врахування фазового множника  $\exp\{i(\xi x - \omega t)\}$ , де:  $i^2 = -1$ ,  $\xi$  горизонтальна компонента відповідного хвильового вектора поздовжньої ( $\vec{k}_l$ ) та поперечної ( $\vec{k}_t$ ) хвиль,  $\omega$  циклічна частота,  $t$  час,  $x$  горизонтальна координата, вісь  $OX$  проходить по межі розділення двох середовищ "1" і "2" (індекси "1" і "2", відповідно визначають параметри хвилі у пружному середовищі та рідині).

Потенціали поздовжнього та поперечного хвильових полів визначаються наступними співвідношеннями:

$$\begin{cases} \varphi(x, z) = \varphi_1 \exp(i\alpha_1 z) + \varphi_2 \exp(-i\alpha_1 z), \\ \psi(x, z) = \psi_1 \exp(i\beta_1 z) + \psi_2 \exp(-i\beta_1 z), \end{cases} \quad (1)$$

де:  $\alpha_1 = \sqrt{k_{l1}^2 - \xi^2}$ ,  $k_{l1} = \omega / v_{l1}$ ,  $\text{Im } \alpha_1 \geq 0$ ;  $\beta_1 = \sqrt{k_{t1}^2 - \xi^2}$ ,  $k_{t1} = \omega / v_{t1}$ ,  $\text{Im } \beta_1 \geq 0$ .

У рідині потенціал хвилі визначимо наступним чином:

$$\tilde{\varphi}(x, z) = \tilde{\varphi}_1 \exp(i\alpha_2 z), \quad (2)$$

де:  $\alpha_2 = \sqrt{k_2^2 - \xi^2}$ ,  $k_2 = \omega / v_2$ ,  $\text{Im } \alpha_2 \geq 0$ ,  $\vec{k}_2$  хвильовий вектор акустичної хвилі у рідині,  $v_2$  швидкість її (хвилі) поширення у рідині.

Величини  $\xi$ ,  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\alpha_2$  визначаються через кути падіння, відповідно, поздовжньої ( $\theta_l$ ) та поперечної ( $\theta_t$ ) хвиль та хвильові числа, причому на межі виконується закон Снелліуса [4] (рис.1):

$$k_{l1} \sin \theta_l = k_{t1} \sin \theta_t = k_2 \sin \theta,$$

$$\xi = k_{l1} \sin \theta_l = k_{t1} \sin \theta_t, \quad \alpha_1 = k_{l1} \cos \theta_l = \sqrt{k_{l1}^2 - k_{t1}^2 \sin^2 \theta_t}, \quad (3)$$

$$\beta_1 = k_{t1} \cos \theta_t = \sqrt{k_{t1}^2 - k_{l1}^2 \sin^2 \theta_l}, \quad \alpha_2 = \sqrt{k_2^2 - k_{l1}^2 \sin^2 \theta_l} = \sqrt{k_2^2 - k_{t1}^2 \sin^2 \theta_t}.$$

Із принципу суперпозиції випливає, що амплітуди  $\varphi_1$ ,  $\psi_1$ ,  $\tilde{\varphi}_1$  хвиль, які поширюються від межі поділу середовищ, лінійно пов'язані з амплітудами  $\varphi_2$ ,  $\psi_2$  падаючих хвиль наступним чином:

$$\begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \psi_1 \\ \tilde{\varphi}_1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{V}_{ll} & \tilde{V}_{lt} \\ \tilde{V}_{tl} & \tilde{V}_{tt} \\ \tilde{W}_{ll} & \tilde{W}_{lt} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_2 \\ \psi_2 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Величини  $\tilde{V}_{ll}$ ,  $\tilde{V}_{lt}$ ,  $\tilde{W}_{ll}$ ,  $\tilde{V}_{tl}$ ,  $\tilde{V}_{tt}$ ,  $\tilde{W}_{lt}$  із співвідношення (4) мають наступний фізичний зміст:  $\tilde{V}_{ll}$  коефіцієнт відбивання поздовжньої хвилі у верхньому середовищі при падінні поздовжньої хвилі  $\tilde{V}_{ll} = \varphi_1 / \varphi_2$  (при  $\varphi_2 = 1$ ,  $\psi_2 = 0$ );  $\tilde{V}_{lt}$

коефіцієнт трансформації падаючої поздовжньої хвилі у поперечну хвилю у верхньому середовищі  $\tilde{V}_{\parallel} = \psi_1 / \varphi_2$  (при  $\varphi_2 = 1, \psi_2 = 0$ );  $\tilde{W}_{\parallel}$  коефіцієнт збудження поздовжньої хвилі у нижньому середовищі при падаючій поздовжній хвилі із верхнього середовища  $\tilde{W}_{\parallel} = \tilde{\varphi}_1 / \varphi_2$  (при  $\varphi_2 = 1, \psi_2 = 0$ );  $\tilde{V}_{\perp}$  коефіцієнт відбивання поперечної хвилі при падінні поперечної хвилі у верхньому середовищі  $\tilde{V}_{\perp} = \psi_1 / \psi_2$  (при  $\psi_2 = 1, \varphi_2 = 0$ );  $\tilde{V}_{\parallel}$  коефіцієнт трансформації падаючої поперечної хвилі у поздовжню хвилю у верхньому середовищі  $\tilde{V}_{\parallel} = \varphi_1 / \psi_2$  (при  $\psi_2 = 1, \varphi_2 = 0$ );  $\tilde{W}_{\parallel}$  коефіцієнт збудження поздовжньої хвилі у нижньому середовищі при падаючій поперечній хвилі із верхнього середовища  $\tilde{W}_{\parallel} = \tilde{\varphi}_1 / \psi_2$  (при  $\psi_2 = 1, \varphi_2 = 0$ ).

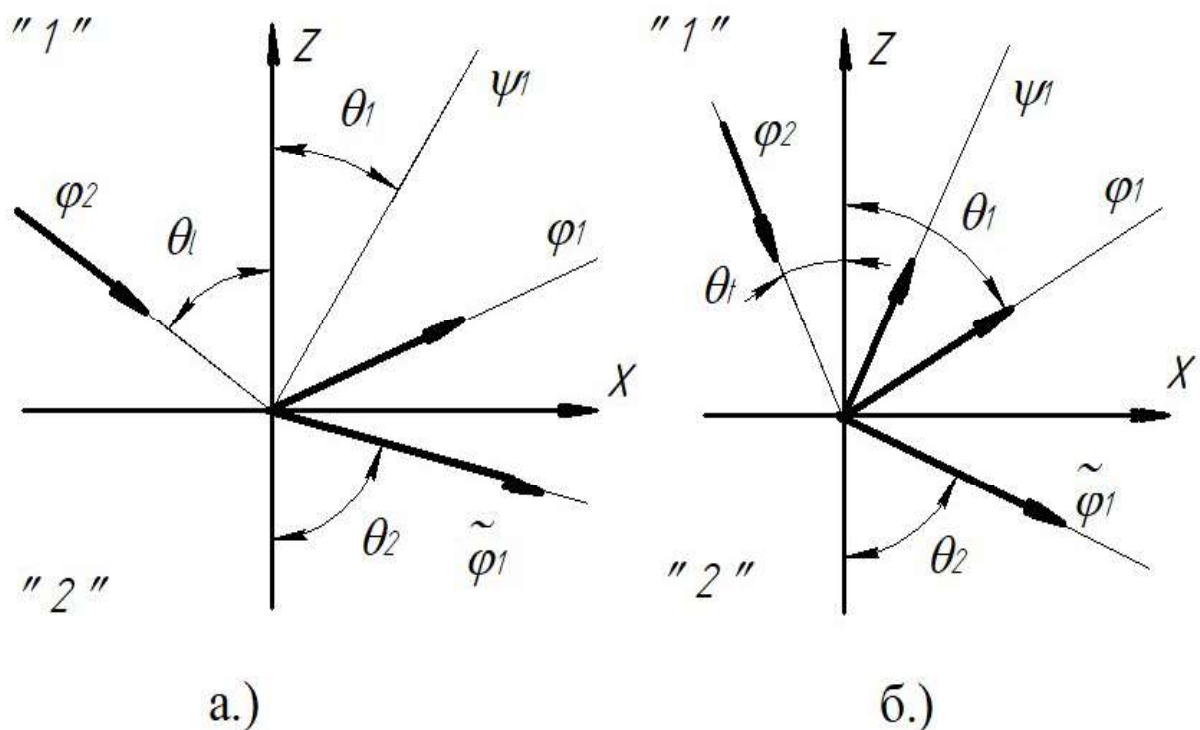


Рис.1. Схема падіння хвиль: поздовжньої хвилі (а) та поперечної хвилі (б) на межу поділу півпросторів

Коефіцієнт відбивання поздовжньої хвилі визначається наступним чином[1]:

$$\tilde{V}_{\parallel} = \frac{z + z_l \sin^2 2\theta_l - z_t \cos^2 2\theta_l}{z + z_l \sin^2 2\theta_l + z_t \cos^2 2\theta_l}, \tag{5}$$

де:

$$z = \frac{\rho_2 v_2}{\cos \theta}, \quad z_l = \frac{\rho_1 v_{l1}}{\cos \theta_l}, \quad z_t = \frac{\rho_1 v_{t1}}{\cos \theta_l}.$$

Відповідно, коефіцієнти трансформації поздовжньої хвилі у поперечну у пружному середовищі та акустичну хвилю рідини дорівнюють:

$$\tilde{V}_{II} = -\frac{2ctg\theta_l \sin^2 \theta_l}{\cos 2\theta_l} \cdot (1 - \tilde{V}_{II}), \quad (6)$$

$$\tilde{W}_{II} = \frac{tg\theta \cdot ctg\theta_l}{\cos 2\theta_l} \cdot (1 - \tilde{V}_{II}). \quad (7)$$

Коефіцієнт відбивання поперечної хвилі визначається наступним чином:

$$\tilde{V}_{II} = -\frac{z + z_l \cos^2 2\theta_l - z_l \sin^2 2\theta_l}{z + z_l \cos^2 2\theta_l + z_l \sin^2 2\theta_l}. \quad (8)$$

Враховуючи (8) отримаємо співвідношення для коефіцієнтів трансформації поперечної хвилі у поздовжню у пружному середовищі та збудження акустичної хвилі в рідині:

$$\tilde{V}_{II} = \frac{tg\theta_l \cos 2\theta_l}{2 \sin^2 2\theta_l} \cdot (1 + \tilde{V}_{II}), \quad (9)$$

$$\tilde{W}_{II} = \frac{tg\theta}{2 \sin^2 2\theta_l} \cdot (1 + \tilde{V}_{II}). \quad (10)$$

Теоретичні розрахунки за співвідношеннями (5)-(10) проведені для гетерогенних та конструкційних матеріалів з  $\nu < 0$ : пісковик Weber, термопластичний поліуретан (ТПУ) і металонаповнені (W, Mo) композиції на його основі. Параметри ауксетик-середовищ представлені в табл.1 [9]. Модельною рідиною слугувало силіконове масло ПФМС-4 ( $\rho_2 = 1005,74$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu_2 = 1395$  м/с) [10], що може використовуватись при імерсійному методі вимірювання швидкостей поширення поздовжніх та поперечних хвиль у твердих тілах.

Таблиця 1

Параметри ауксетик-середовищ

Середовище	Матеріал	$\nu$	$\nu_{II}$ , м/с	$\nu_{I1}$ , м/с	$\rho_1$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_1 \nu_{II} \cdot 10^{-6}$ кг/(м <sup>2</sup> ·с)	$\rho_1 \nu_{I1} \cdot 10^{-6}$ кг/(м <sup>2</sup> ·с)
1	Пісковик Weber	-0,09	2450	1800	2151	5,27	3,87
2	ТПУ+W	-0,24	1775	1370	9888	17,55	13,55
3	ТПУ+Mo	-0,39	1755	1405	4603	8,08	6,47
4	ТПУ	-1	1635	1415	1107	1,81	1,56

Коефіцієнт Пуассона ( $\nu$ ) при відомих швидкостях поширення  $\nu_{I2}$  та  $\nu_{II}$  визначається за співвідношенням [7]:

$$v = \frac{2 - \left(\frac{v_{l1}}{v_{t1}}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{v_{l1}}{v_{t1}}\right)^2}. \quad (11)$$

Аналіз залежностей (5)-(11) показує наступне:

1) коефіцієнт відбивання  $\tilde{V}_{ll}$  від кута падіння поздовжньої хвилі для ауксетик-середовищ залежить таким чином, що існує 3 основні характерні точки для кутів обміну поляризацією при  $\tilde{V}_{ll} = 0$  і точка ( $\theta_{lmax}$ ), при якій величина  $\tilde{V}_{ll}$  має локальний максимум. Крім того, характерною особливістю функціональних залежностей  $\tilde{V}_{ll} = f(\theta_l)$  при кутах  $\theta_{lmax}$  для ауксетик-середовищ є те, що у цих точках  $\tilde{V}_{ll} = 1$ ;

2) порівняльний аналіз залежностей  $\tilde{V}_{ll}$  і  $\tilde{V}_{lt}$  від  $\theta_l$  показує, що при кутах  $\theta_{lmax}$  значення  $\tilde{V}_{lt} = 0$  і трансформація в поперечну хвилю не відбувається, а відбивання поздовжньої проходить у протифазі без зміни амплітуди. Кути  $\theta_{lmax}$  для середовищ з від'ємним коефіцієнтом Пуассона ( $v$ ) розраховуються за співвідношенням:

$$\theta_{lmax} = \arcsin \left\{ \left( \frac{2v - 2}{4v - 2} \right)^{1/2} \right\}; \quad (12)$$

3) при нормальному падінні поздовжньої хвилі ( $\theta_l = 0$ ) амплітуди коефіцієнта відбивання  $\tilde{V}_{ll}$  визначаються акустичними жорсткостями ауксетик-середовища для поздовжньої хвилі  $\rho_1 v_{l1}$  і зростають в ряді 2, 3, 1, 4, відповідно до зменшення акустичної жорсткості середовища (табл.1);

4) аналіз залежностей величини  $\tilde{W}_{ll}$  від кута падіння поздовжньої хвилі  $\theta_l$  показує, що характер поведінки визначається величиною  $\rho_1 v_{l1}$  і коефіцієнтом Пуассона  $v$  ауксетик-середовища. Криві монотонно спадають до чітко виражених локальних мінімумів при кутах, близьких до  $\pi / 2$ , в яких величина  $\tilde{V}_{ll}$  має максимум для відповідних середовищ;

5) залежності величин відбивання  $\tilde{V}_{ll}$  від кута падіння поперечної хвилі ( $\theta_t$ ) двічі перетинають пряму  $\tilde{V}_{ll} = 0$ , визначаючи кути обміну поляризаціями, і мають максимуми у точці  $\pi / 4$ . Величина максимуму визначається акустичною жорсткістю для поперечної хвилі  $\rho_1 v_{t1}$  ауксетик-середовища і зростає в ряді 4, 1, 3, 2 із відповідним зростанням величини  $\rho_1 v_{l1}$  (табл.1);

6) аналіз залежностей  $\tilde{V}_{ll}$  від кута  $\theta_t$  для ауксетик-середовищ показує, що при  $\theta_t = \pi / 4$  величини  $\tilde{V}_{ll} = 0$  і відбувається повне відбивання поперечної хвилі без трансформації у поздовжню;

7) залежності коефіцієнтів збудження поздовжньої хвилі у рідині  $\tilde{W}_n$  від кута падіння поперечної хвилі  $\theta_i$  на межу поділу дещо подібні до функціональних залежностей  $\tilde{V}_n$ . При цьому слід відмітити, що величина максимуму визначається також зміною акустичної жорсткості для поперечної хвилі ауксетик-середовища, за виключенням середовищ 1 та 4, і зростає в ряді 1, 4, 3, 2;

8) характерною особливістю функціональних залежностей  $\tilde{V}_n$  та  $\tilde{W}_n$  є наявність критичного кута  $\theta_{кр.}$ , при якому спостерігається повне внутрішнє відбивання - відбита хвиля є поверхневою, а значення  $\tilde{V}_n$  й  $\tilde{W}_n$  прямують до нескінченності. Величина кута  $\theta_{кр.}$  залежить від коефіцієнта Пуассона ауксетик-середовища і визначається за співвідношенням:

$$\theta_{кр.} = \arcsin \left\{ \left( \frac{2\nu - 1}{2\nu - 2} \right)^{1/2} \right\}. \quad (13)$$

### Висновки.

1. Характер залежностей коефіцієнтів відбивання, трансформації та збудження при падінні поздовжньої та поперечної хвиль на межу поділу ауксетик-середовища та рідини залежить від коефіцієнта Пуассона та акустичних жорсткостей контактуючих середовищ. Критичні кути, при яких відбувається обмін поляризацією та повне внутрішнє відбивання від межі рідини та ауксетик-середовища, визначається величиною коефіцієнта Пуассона.

2. У подальшому слід визначити компоненти вектора густини потоку потужностей у відбитих та трансформованих хвилях у пружному ауксетик-середовищі, яке моделює полімербетонне покриття автомобільних доріг, контактуючих з водною плівкою, а також збуджену хвилю у рідині, що забезпечить повний аналіз процесів збереження і перетворення енергії на межі контактуючих середовищ.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика слоистых сред. - М.: Наука, 1989. - 416 с.
2. Мікуліч О.А., Шваб'юк В.І. Взаємодія слабких ударних хвиль з тунельними порожнинами у ауксетик-середовищах. Наукові нотатки, вип.61. 2018. - С.148-153.
3. Физическая акустика/Под ред. У.Мезона. Т.1. - М.: Мир, 1966. 592 с.
4. Arenberg D.L. Ultrasonic solid lines. J.Acoust. Amer. 1948. V.20. №1. P. 1-26.
5. Мащенко В.А., Волошин О.М., Колупаєв Б.Б., Іваніщук С.М. Плоскі хвилі на вільній поверхні полімерного пружного тіла з від'ємним коефіцієнтом Пуассона. Фізика конденсованих високомолекулярних систем. Наукові записки

Рівненського державного гуманітарного університету, Вип.9. - Рівне: РДГУ, 2002. - С. 36-38.

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

7. Ergin K. Energy ratio the seismic waves reflected and refracted at a rock-water boundary. Bull. Seismol. Sor. Amer. 1952. V.42. №10. P. 349-372.

8. Мащенко В.А. Відбивання та заломлення акустичних хвиль на межі пружних середовищ з від'ємним коефіцієнтом Пуассона. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Частина 2. Технічні науки, вип. 3 (71). - Рівне: НУВГП, 2015. - С. 382-387.

9. Таблицы физических величин. Справочник/Под ред. акад. И.К. Кикоина. - М.: Атомиздат, 1976. -1008 с.

к.т.н., профессор Човнюк Ю.В.,

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,

к.т.н., доцент Чередниченко П.П., к.т.н., доцент Остапущенко О.П.,

к.т.н., доцент Кравчук В.Т., Кравченко И.Н.,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## **НОВЫЙ МЕТОД АКУСТИКО-ВОЛНОВОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Рассмотрена задача отражения продольных и поперечных волн от границы жидкости и однородной упругой среды полимербетонного дорожного покрытия автомобильных дорог - с учетом того, что при этом в жидкости возбуждается продольная акустическая волна. Поскольку распределение энергии между падающей, отраженной, трансформированной и возбужденной волнами определяется структурно-механическими параметрами сред (плотностью, скоростями распространения продольной и поперечной волн) в соответствии с коэффициентом Пуассона, то для моделирования такой упругой среды, как дорожная одежда, использован материал, который принадлежит к классу гетерогенных и конструктивных материалов под общим наименованием “ауксетики”, которые имеют отрицательный коэффициент Пуассона. В результате исследований были определены амплитуды потенциалов отраженных и трансформированных акустических волн в упругой ауксетик-среде и амплитуды потенциалов возбуждения акустической волны в жидкости, которая покрывает полимербетонное покрытие дороги. Было доказано, что характер зависимостей коэффициентов отражения, трансформации и возбуждения при падении продольной и поперечных волн на границу раздела ауксетик-среды и жидкости зависит от коэффициента



Пуассона и акустических жесткостей контактирующих сред. Обоснованы условия возникновения критических углов в зависимости от физических параметров этих сред.

Полученные в работе результаты можно в дальнейшем использовать для усовершенствования и уточнения инженерных методов расчета параметров диагностического оборудования, которое применяется для определения термупругого состояния дорожной одежды, как на стадии проектирования и конструирования подобных приборов, так и в условиях их реальной эксплуатации.

Ключевые слова: продольная и поперечная акустические волны; акустик-среда; коэффициент отражения; трансформации и возбуждения акустических волн; структурно-механические параметры; полимербетонное дорожное покрытие.

Ph.D., Professor ISA Chovnyuk Yuriy.,  
National University of Bioresources and Life Sciences of Ukraine,  
Associate Professor Cherednichenko Petro,  
Ph.D., Associate Professor Ostapushchenko Olga,  
Ph.D., Associate Professor Kravchyuk Vladimir, Kravchenko Igor,  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## **A NEW ACOUSTIC-WAVE ANALYSIS METHOD OF STRUCTURAL-MECHANICAL POLYMERBETON ROADS PARAMETERS**

The longitudinal and transverse reflection waves problem from the boundary of the liquid and the homogeneous elastic medium – roads polymer concrete pavement is considered - taking into account that the longitudinal acoustic wave is excited in the liquid. Since the energy distribution between incident, reflected, transformed and excited waves is determined by the structural and mechanical parameters of the media (density, velocities of longitudinal and transverse waves) according to the Poisson's ratio, to model such an elastic medium as pavement, used material belonging to heterogeneous and structural materials class under the general name "auxetics", having a negative Poisson's ratio. As a result of researches amplitudes of reflected and transformed acoustic waves potentials in the elastic auxetic medium and amplitudes excitation of an acoustic wave in the liquid covering a polymer-concrete covering of the road were defined potentials It was proved that the reflection, transformation and excitation coefficients when the longitudinal and transverse waves fall on the boundary between the auxetic medium and the liquid nature depends on the Poisson's ratio and the acoustic contact media stiffness The conditions of critical angles depending on physical parameters of these environments occurrence are substantiated.

The results obtained in this work can be further used to improve and refine engineering methods for calculating the parameters of diagnostic equipment used to determine the thermoelastic state of pavement, both at the stage of design and construction of such devices and in their actual operation.

Key words: longitudinal and transverse acoustic waves; auxetic medium; reflection coefficient; transformation and excitation of acoustic waves; structural and mechanical parameters; polymer concrete pavement.

### REFERENS

1. Brekhovskiy L.M., Hodyn O.A. Akustika sloystykh sred. - M.: Nauka, 1989. - 416 s. {In Russian}
2. Mikulich O.A., Shvabiuk V.I. Vzaiemodiia slabkykh udarnykh khvyl z tunelnymy porozhnynamy u auksetyk-seredovyshchakh. Naukovi notatky, vyp.61. 2018. - S.148-153. {In Ukrainian}
3. Fyzycheskaia akustika/Pod red. U.Mezona. T.1. - M.: Myr, 1966. 592s. {In Russian}
4. Arenberg D.L. Ultrasonic solid lines. J.Acoust. Amer. 1948. V.20. №1. P. 1-26. {In English}
5. Mashchenko V.A., Voloshyn O.M., Kolupaiev B.B., Ivanishchuk S.M. Ploski khvyli na vilnii poverkhni polimernoho pruzhnoho tila z vidiemnym koefitsiientom Puassona. Fyzyka kondensovanykh vysokomolekuliarnykh system. Naukovi zapysky Rivnenskoho derzhavnoho humanitarnoho universytetu, Vyp.9. - Rivne: RDHU, 2002. - S. 36-38. {In Ukrainian}
6. Landau L.D., Lyfshyts E.M. Teoriya uprugosti. - M.: Nauka, 1985. – 245 s. {In Russian}
7. Ergin K. Energy ratio the seismic waves reflected and refracted at a rock-water boundary. Bull. Seismol. Sor. Amer. 1952. V.42. №10. R. 349-372. {In English}
8. Mashchenko V.A. Vidbyvannia ta zalomlennia akustychnykh khvyl na mezhi pruzhnykh seredovyshch z vidiemnym koefitsiientom Puassona. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Chastyna 2. Tekhnichni nauky, vyp. 3 (71). - Rivne: NUVHP, 2015. - S. 382-387. {In Ukrainian}
9. Tablytsy fyzycheskykh velychyn. Spravochnyk/Pod red. akad. Y.K. Kykoyna. - M.: Atomyzdat, 1976. -1008 s. {In Russian}