

УДК 624.012.3:620.179.16

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.50.522

## ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ УЛЬТРАЗВУКУ ПІД ЧАС ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СТІЮК ЕСТАКАД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

КОЛОХОВ В. В.<sup>1\*</sup>, к. т. н, доц.,  
СОПІЛЬНЯК А. М.<sup>2</sup>, к. т. н, доц.,  
СМИРНОВ А. С.<sup>3</sup>, наук. співроб.

<sup>1\*</sup> Кафедра технологій будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: [kolokhovdnepr@i.ua](mailto:kolokhovdnepr@i.ua), ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

<sup>2</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sopilniak.artem@pgasa.dp.ua](mailto:sopilniak.artem@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

<sup>3</sup> Лабораторія дослідження атомних та теплових електростанцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [a.smyrnoff@gmail.com](mailto:a.smyrnoff@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-2500-2323

**Анотація. Постановка проблеми.** Визначення фізико-механічних характеристик матеріалу конструкцій із застосуванням неруйнівних методів – основа визначення технічного стану будівель та споруд. Діючі нормативні документи чітко не вказують напрям орієнтації приладу ультразвукового контролю під час проведення вимірів, що впливає на достовірність застосованих методів визначення властивостей матеріалу в експлуатованих конструкціях. **Мета дослідження.** Оцінити вплив орієнтації приладу ультразвукового контролю під час проведення визначення фізико-механічних характеристик у конструкціях, які експлуатуються, та можливість удосконалення цієї методики. **Методика.** Порівняння проведених вимірів за допомогою ультразвукових приладів в аналогічних зонах типових конструкцій, виготовлених за типовими технологіями, що працюють під однаковими навантаженнями, та статистична обробка отриманих результатів (із візуалізацією) проведені з використанням програмного комплексу EXEL. **Результати.** Дослідження підтвердили необхідність урахування орієнтації приладу ультразвукового контролю для оцінювання міцності бетону за допомогою тарувальних залежностей. Показано, що неможливо всі типові конструкції відносити до однієї генеральної сукупності. Для визначення фізико-механічних характеристик матеріалу конструкцій необхідно для кожної конструкції коригувати тарувальну залежність для використання ультразвукових приладів. Модернізація методу дозволить застосовувати його для діагностики стану конструкцій. **Висновки.** Під час вимірювань підтверджено вплив на результати визначення швидкості ультразвуку: напрямку, в якому розташовано ультразвуковий прилад вимірювання, параметрів технології виробництва та умов експлуатації. Для підвищення точності визначення фізико-механічних характеристик за допомогою методу ультразвукового контролю необхідне врахування вказаних впливів.

**Ключові слова:** фізико-механічні характеристики; неруйнівний контроль; ультразвук

## ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТОЕК ЭСТАКАД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

КОЛОХОВ В. В.<sup>1\*</sup>, к. т. н, доц.,  
СОПИЛЬНЯК А. М.<sup>2</sup>, к. т. н, доц.,  
СМИРНОВ А. С.<sup>3</sup>, науч. сотр.

<sup>1\*</sup> Кафедра технологий строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: [kolokhovdnepr@i.ua](mailto:kolokhovdnepr@i.ua), ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

<sup>2</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sopilniak.artem@pgasa.dp.ua](mailto:sopilniak.artem@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

<sup>3</sup> Лаборатория исследования атомных и тепловых электростанций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [a.smyrnoff@gmail.com](mailto:a.smyrnoff@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-2500-2323

**Аннотация. Постановка проблемы.** Определение физико-механических характеристик материала конструкций с применением неразрушающих методов является основой определения технического состояния зданий и сооружений. Действующие нормативные документы четко не определяют направление ориентации

прибора ультразвукового контролю при проведенні измерений, що сказується на достовірності применяемых методів определения свойств материала в эксплуатируемых конструкциях. **Цель исследования.** Оценить влияние ориентации прибора ультразвукового контроля при проведении определения физико-механических характеристик в эксплуатируемых конструкциях и возможность усовершенствования этой методики. **Методика.** Сравнение проведенных измерений с помощью ультразвуковых приборов в аналогичных зонах типовых конструкций, изготовленных по типовым технологиям, работающих под одинаковыми нагрузками, и статистическая обработка полученных результатов (с визуализацией) проведены с использованием программного комплекса EXEL. **Результаты.** Исследования подтвердили необходимость учета ориентации прибора ультразвукового контроля для оценки прочности бетона с помощью тарифовочных зависимостей. Показано, что невозможно все типовые конструкции отнести к одной генеральной совокупности. Для определения физико-механических характеристик материала конструкций необходимо для каждой конструкции корректировать тарифовочную зависимость для использования ультразвуковых приборов. Модернизация метода позволит использовать его для диагностики состояния конструкций. **Выводы.** При проведении измерений подтверждено влияние на результаты определения скорости ультразвука: направления, в котором расположен ультразвуковой прибор измерения, параметров технологии производства и условий эксплуатации. Для повышения точности определения физико-механических характеристик с помощью метода ультразвукового контроля необходим учет указанных воздействий.

**Ключевые слова:** физико-механические характеристики; неразрушающий контроль; ультразвук

## MEASUREMENT OF THE SPEED OF ULTRASOUND DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF STANDS OF COLUMNES OF ESTACADES OF TECHNOLOGICAL PIPELINES

KOLOKHOV V.V.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,  
SOPILNIAK A.M.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,  
SMYRNOV A.S.<sup>3</sup>, *Researcher*

<sup>1\*</sup> Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, State Higher Educational Institution «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-76, e-mail: [kolokhovdnepr@i.ua](mailto:kolokhovdnepr@i.ua), ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

<sup>2</sup> Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Educational Institution «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sopilniak.artem@pgasa.dp.ua](mailto:sopilniak.artem@pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

<sup>3</sup> Nuclear and thermal power plants researching laboratory, State Higher Educational Institution «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [a.smyrnoff@gmail.com](mailto:a.smyrnoff@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-2500-2323

**Abstract. Problem formulation.** Determination of the physical and mechanical characteristics of the material of structures using non-destructive methods is the basis for determining the technical condition of buildings and structures. The current regulatory documents do not clearly determine the orientation of the ultrasonic monitoring device during measurements, which affect the reliability of the methods used to determine the properties of the material in the used structures. **Purpose.** To evaluate the effects of the orientation of device of ultrasound control during the determination of physical-mechanical characteristics in used structures and the possibility to improve these methods. **The technique.** Comparison of the performed measurements using ultrasonic devices in similar zones of typical structures, manufactured according to typical technologies operating under the same load and statistical processing of the obtained results (with visualization) was carried out using the software EXEL. **The presentation material.** During the process of performing tests, the results of visual ultrasound were tested: the ultrasound device was installed in a certain way, the parameters of the technology and operating technology are clear. For greater accuracy, the visualization of physical and mechanical characteristics for the additional method of ultrasonic control, it is necessary to consider in the case of inflows. **Conclusions.** During the measurements, the influence on the results of determination of the speed of ultrasound was confirmed: the direction in which the ultrasonic measuring device, the parameters of the production technology and the operating conditions are located. To improve the accuracy of determining the physical and mechanical characteristics using the method of ultrasonic control, it is necessary to take into account these effects.

**Keywords:** physical-mechanical characteristics; non-destructive control; ultrasonic

**Вступ.** Визначення технічного стану будівель та споруд проводиться на підставі ДСТУ-Н Б В.1.2-18.2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» [1]. Оцінка технічного стану зазвичай

потребує виконання перевірочних розрахунків. У разі незмінності навантажень можливо визначити стан конструкції, підтвердивши, зокрема, незмінність ФМХ матеріалів, що її складають. Як показано в [2], існує суттєва розбіжність між

проектними значеннями ФМХ матеріалу конструкцій та її реальними властивостями. Зазвичай властивості бетону конструкцій визначають за допомогою ультразвукових приладів. Їх застосування нормується ДСТУ Б В.2.7-226:2009 [3]. Необхідні для виконання перевірочних розрахунків значення фізико-механічних характеристик (ФМХ) матеріалу отримують як результат застосування тарувальних залежностей. Попередні дослідження, проведені в лабораторних умовах [4–6], підтвердили вплив на результати визначення швидкості ультразвуку в бетоні: напружено-деформованого стану (НДС); напряму розташування приладу та зусилля притиснення приладу до бетону.

Окрім цього, на точність тарувальних залежностей впливають також умови проведення вимірів під час їх побудови [7]. Вищевказані фактори недостатньо чітко регламентовані в нормах [2], що знижує достовірність результатів застосування цього методу. Імовірно, виходячи з аналогічних міркувань сучасні закордонні

дослідники застосовують ультразвуковий метод переважно для дефектоскопії конструкцій [8–12]. Для підвищення точності визначення ФМХ матеріалів конструкції необхідно отримати додаткові дані для аналізу та вдосконалення ультразвукового методу визначення властивостей бетону в конструкціях, що експлуатуються.

**Мета дослідження** – отримати дані, щодо впливу параметрів орієнтації приладу вимірювання на результати визначення ФМХ в експлуатованих конструкціях та можливість удосконалення цієї методики.

**Виклад матеріалу.** Експерименти проведено під час визначення технічного стану стійок естакад технологічних трубопроводів. Обстежено три естакади з різним навантаженням. Для кожної естакади використано свій тип стійок. Загальний вид стійок усіх типів наведено на рисунку 1. Схеми стійок, навантаження на них та розташування зони вимірів наведено на рисунку 2.



a



б(б)



в(с)

Рис. 1. Загальний вигляд стійок естакад технологічних трубопроводів: а – тип 1, б – тип 2; в – тип 3 /  
Fig. 1. General view of columns of technological pipelines: a – type 1, b – type 2; c – type 3

виміри проводили на бічній поверхні стійки, що орієнтована перпендикулярно осі естакади. Зони контролю розташовано на рівні 1,4...1,7 м від поверхні землі. В кожній зоні проведено по чотири серії

вимірювань. Схема проведення вимірів у зоні контролю наведено на рисунку 3. Виміри проводились із застосування приладу «Пульсар 1.1» (рис. 4), який дозволяє визначати швидкість

ультразвукових коливань (УЗК) на підставі вимірювання часу поширення на постійній базі. База вимірювання під час

дослідження складала 120 мм. Прилад реалізує поверхневе прозвучування з так званим «сухим контактом».

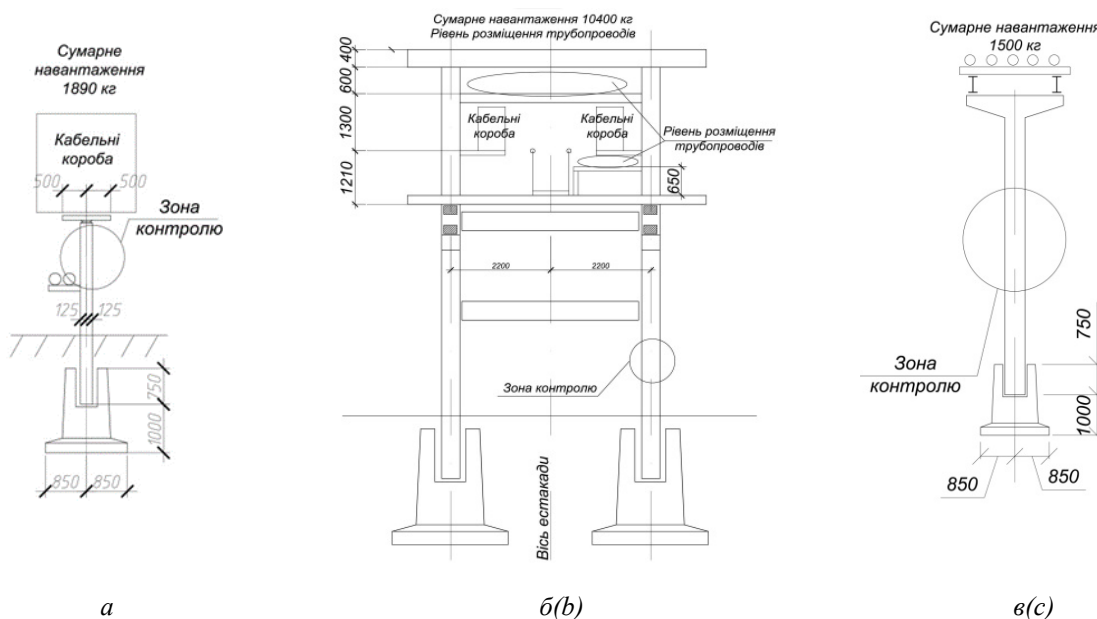


Рис. 2. Схема стійок естакад технологічних трубопроводів: а – тип 1, б – тип 2; в – тип 3 / Fig. 2. General view of columns of technological pipelines: a – type 1, b – type 2; c – type 3

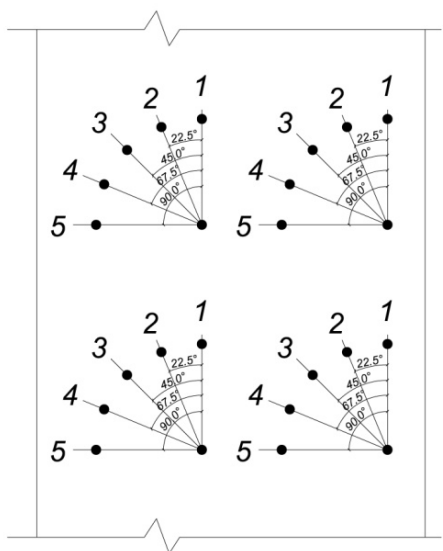


Рис. 3. Схема проведення вимірів у зоні контролю: 1, 2, 3, 4, 5 – напрямки розташування приладу / Fig. 3. Scheme of measurements in the control area: 1, 2, 3, 4, 5 – directions of the device



Рис. 4. Проведення вимірів із використанням ультразвукового приладу «Пультсар 1.1» / Fig. 4. Measurement using a Pulsar 1.1 ultrasonic device

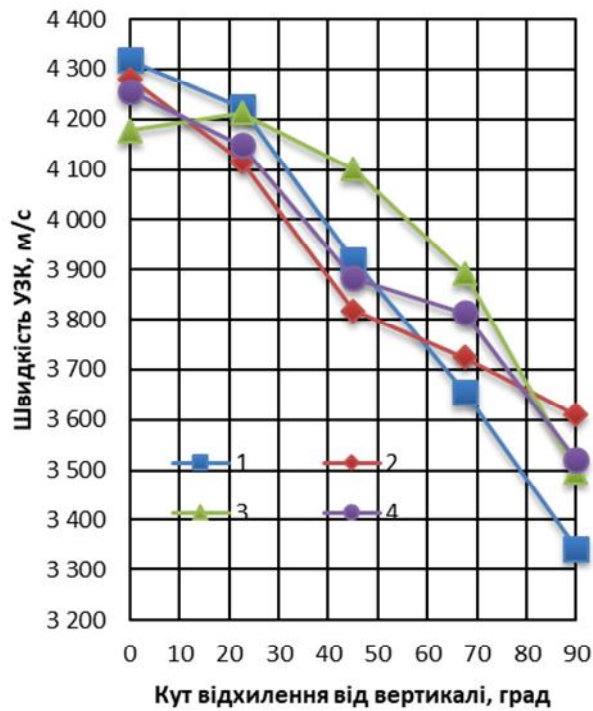
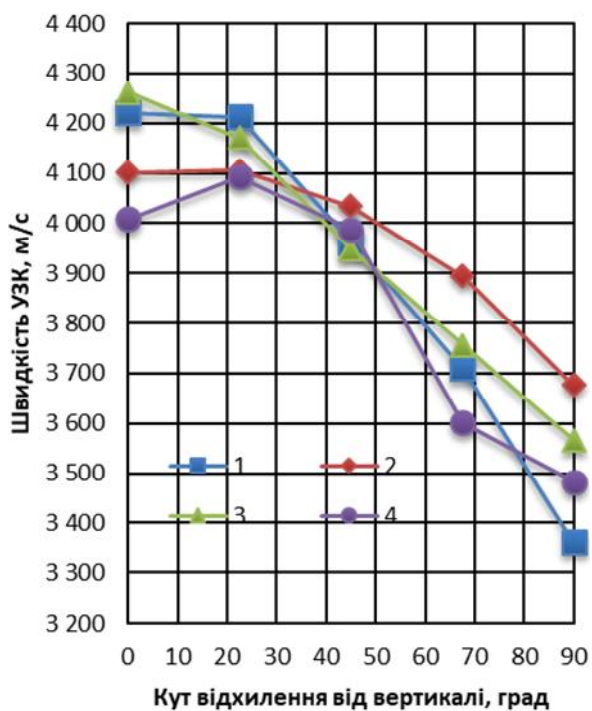
Визначення проводилось для трьох стійок кожної естакади. Під час роботи прилад розміщували у вертикальній площині, проводили вимір, результат фіксували, прилад повертали на наперед заданий кут (22,5°) і процедуру

повторювали ще чотири рази. Результати визначення швидкості УЗК для стійок естакад технологічних трубопроводів № 1, № 2 та № 3 показано у вигляді графіків на рисунках 5–7 відповідно. На рисунках наведено результати лише по двох стійках.



Якісно залежності «швидкість УЗК – кут відхилення від вертикалі приладу» для

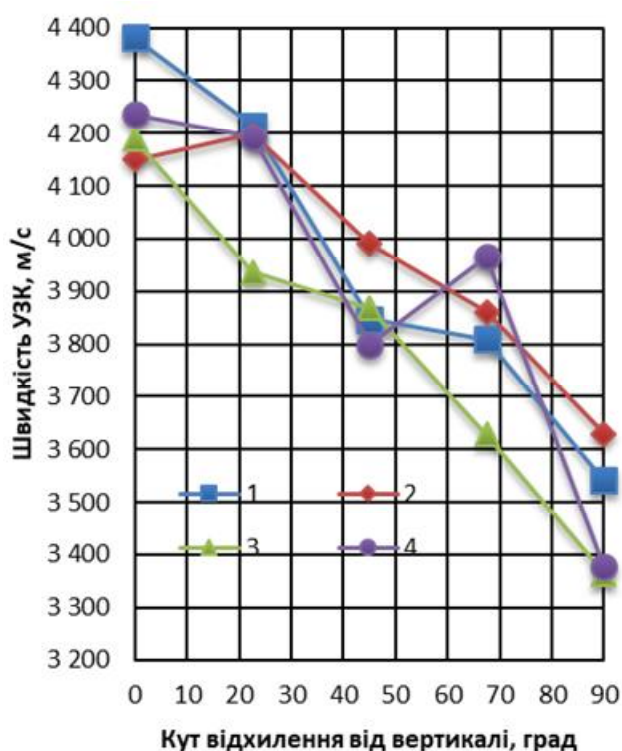
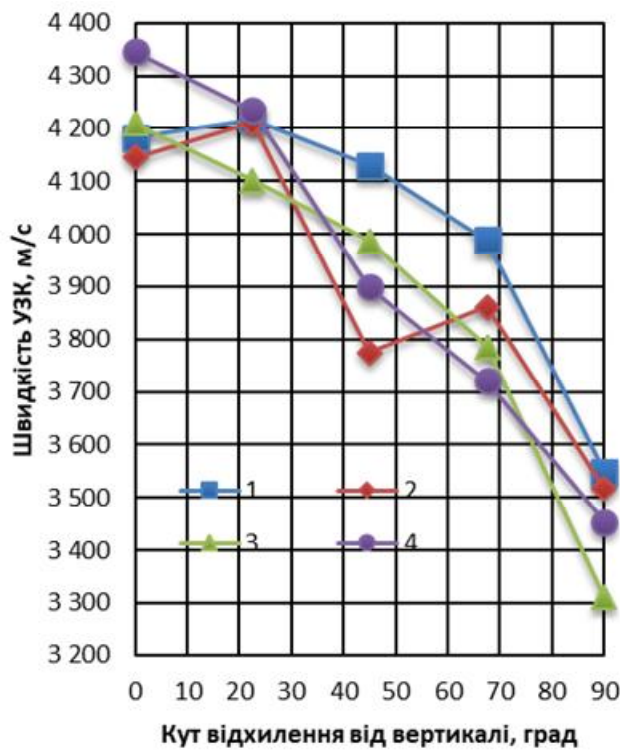
третьої стійки не відрізняються від наведених на графіках.



а

б (b)

Рис. 5. Залежність «швидкість УЗК – кут відхилення від вертикалі приладу» для стійок естакади № 1: а – стійка № 1; б – стійка № 2 / Fig. 5. Dependence "UZK speed – angle of deviation from the vertical of the device" for columns of trestle no. 1: a – column no. 1; b – column no. 2



а

б (b)

Рис. 6. Залежність «швидкість УЗК – кут відхилення від вертикалі приладу» для стійок естакади № 2: а – стійка № 1; б – стійка № 2 / Fig. 6. Dependence "UZK speed – angle of deviation from the vertical of the device" for columns of trestle no. 2: a – column no. 1; b – column no. 2

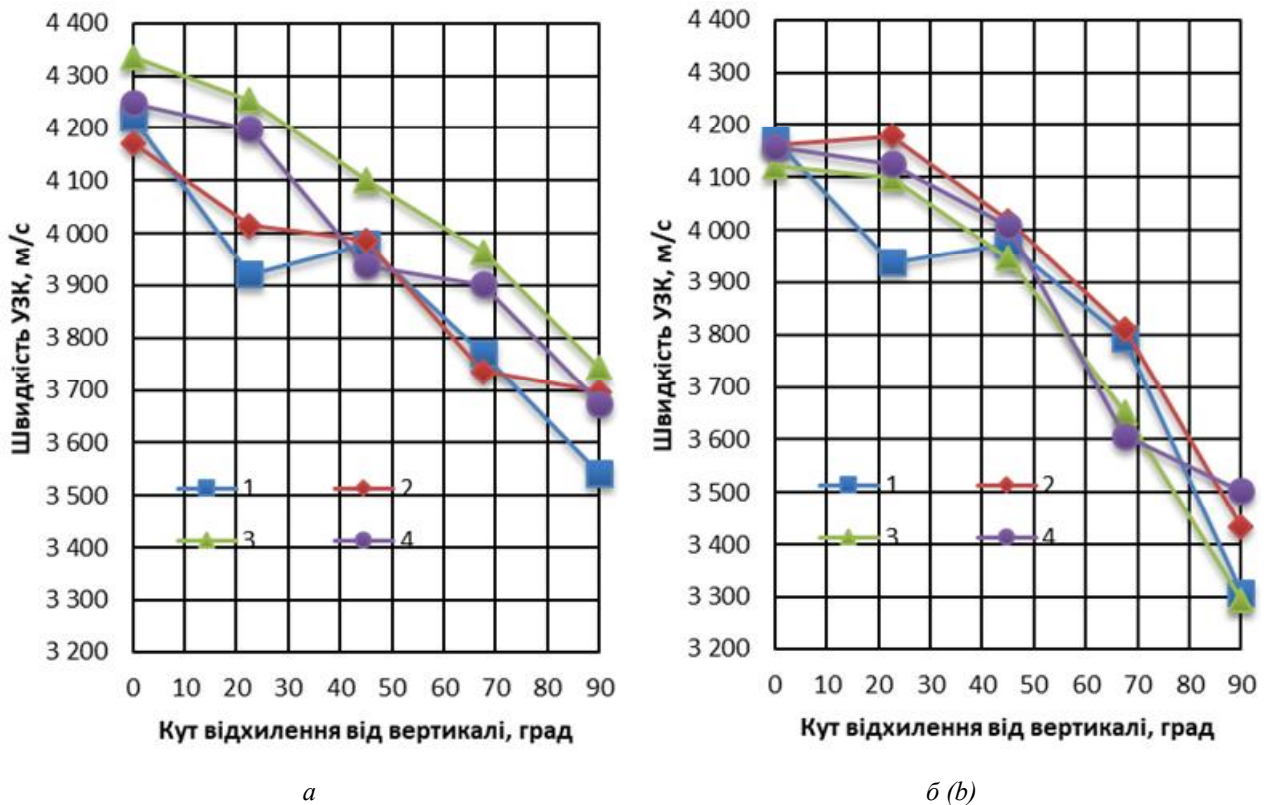


Рис. 7. Залежність «швидкість УЗК – кут відхилення від вертикалі приладу» для стійок естакади № 3: а – стійка № 1; б – стійка № 2 / Fig. 7. Dependence "UZK speed - angle of deviation from the vertical of the device" for columns of trestle No 3: а – column no. 1; б – column no. 2

Аналіз результатів вимірів дозволяє стверджувати, що для всіх типів стійок швидкість УЗК змінюється доволі плавно. Якщо прилад для вимірювання УЗК розташовано вертикально, швидкість УЗК перебуває в інтервалі 4 400...4 000 м/с. У разі горизонтального розташування приладу швидкість УЗК складає 3 700...3 300 м/с.

Якщо розглядати результати вимірювань окремо для кожної стійки, то всі результати знаходяться в межах довірчих інтервалів. Коефіцієнт варіації не перевищує 5%. Поєднавши результати вимірів по всіх стійках одного типу, отримаємо більшу частину результатів за межами довірчого інтервалу, за знов таки невисокого коефіцієнта варіації. Тобто, незважаючи на однакові проектні показники конструкцій, однакові параметри технології її виготовлення та практично ідентичні умови експлуатації, неможливо всі стійки естакади відносити до однієї генеральної сукупності. Таким чином, для визначення ФМХ матеріалу конструкцій необхідно для кожної

стійки коригувати тарувальну залежність для використання УЗК приладів.

Необхідно також звернути увагу на окремі відхилення від плавного перебігу залежності. Вірогідно такі відхилення пов'язані з наявністю дефектів структури в межах зони впливу на результати вимірювань. Отож вимірювання УЗК дозволяє виявляти дефекти структури конструкції. Порівнюючи отриману інформацію з попередніми результатами, можна визначити вплив дефектів на технічний стан конструкції, що дозволяє додати ультразвуковий метод за певною модернізацією до системи оцінювання технічного стану конструкцій [13; 14].

**Висновки.** У процесі проведенні вимірювань підтверджено вплив на результати визначення швидкості УЗК: напрямку, в якому розташовано УЗК прилад вимірювання, параметрів технології виробництва та умов експлуатації.

Для підвищення точності визначення ФМХ за допомогою методу УЗК контролю необхідне врахування вказаних впливів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Київ : ДП УкрНДНЦ, 2017. – 43 с.
2. Kolokhov V. Structure materialphysic-mechanical characteristics accuracy determination while changing the level of stresses in the structure / Victor Kolokhov, Artem Sopilniak, Grygorii Gasii, Alexander Kolokhov // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7. – № 4.8. – Pp. 74–78.
3. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності : ДСТУ Б В.2.7-226:2009. [Чинний від 2010-09-01]. – Київ : ДП Укразбудінформ, 2010. – 27 с. (Національний стандарт України).
4. Колохов В. В. Вплив рівня напруги на швидкість розповсюдження ультразвукових коливань у бетоні конструкцій / В. В. Колохов, Ю. О. Кожанов, Д. М. Зезюков // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2019. – № 1. – С. 49–57.
5. Колохов В. В. Зміна часу поширення ультразвукових коливань у бетоні за зміни умов проведення вимірювань / В. В. Колохов, О. В. Колохов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2019. – № 2. – С. 95–104.
6. Колохов В. В. Деякі аспекти вимірювання часу поширення ультразвукових коливань у бетоні / В. В. Колохов, О. В. Колохов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2019. – № 3. – С. 58–65.
7. Shishkin A. Effect of the iron-containing filler on the strength of concrete / A. Shishkin, N. Netesa, V. Scherba // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 5/6, no. 89. – 2017. – Pp. 11–16. – Режим доступу : <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109977>
8. Mori K. A new non-contacting non-destructive testing method for defect detection in concrete / K. Mori, A. Spagnoli, Y. Murakami, G. Kondo, I. Torigoe // NDT and E International. – 2002. – Vol. 35, iss. 6. – Pp. 399–406.
9. Schabowicz K. Ultrasonic tomography – The latest nondestructive technique for testing concrete members – Description, test methodology, application example / K. Schabowicz // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2014. – Vol. 14, iss. 2. – Pp. 295–303.
10. Chen Jun. Experimental characterization of granite damage using nonlinear ultrasonic techniques / Jun Chen, Zheng Xu, Yue Yu, Yangping Yao // NDT and E International. Editor-in-chief D. E. Chimenti. – 2014. – Vol. 67. – Pp. 10–16.
11. Hassan A. M. T. Non-destructive testing of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC): A feasibility study for using ultrasonic and resonant frequency testing techniques / A. M. T. Hassan, S. W. Jones // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 35. – Pp. 361–367.
12. Ari Hoda. Assessing sensitivity of impact echo and ultrasonic surface waves methods for nondestructive evaluation of concrete structures / Hoda Ari, Soheil Nazarian, Deren Yuan // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 71. – Pp. 384–391.
13. Колохов В. В. Формализация процедуры определения физико-механических свойств бетона и её аппаратное обеспечение / В. В. Колохов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Вып. 69. – 2013. – С. 231–236.
14. Колохов В. В. Некоторые аспекты применения методов неразрушающего контроля свойств бетона / В. В. Колохов // Theoretical foundations of civil engineering. Polish-Ukrainian Transactions (conference). – Warsaw, 2012. – Vol. 20. – С. 443–448.

## REFERENCES

1. DSTU-N B V.1.2-18:2016. *Nastanova shchodo obstezhennya budivel' i sporud dlya vyznachennya ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu* [Guidelines for inspection of buildings and structures to determine and evaluate their technical condition]. Kyiv : SE UkrSRNC, 2017, 43 p. (in Ukrainian).
2. Kolokhov Victor, Sopilniak Artem, Gasii Grygorii, Kolokhov Olexander. Structure materialphysic-mechanical characteristics accuracy determination while changing the level of stresses in the structure. International Journal of Engineering & Technology. 2018, vol. 7, no. 4.8, pp. 74–78.
3. DSTU B V.2.7-226:2009. *Betoni. Ul'trazvukovij metod viznachennya micnosti* [Concrets. Ultrasonic method for determining strength]. Effective from 2010-09-01. Kyiv : DP Ukrarabudininform, 2010, 27 p. (National Standard of Ukraine). (in Ukrainian).
4. Kolokhov V.V, Kozhanov Yu.O and Zeziukov D.M. *Influence of stress level in concrete constructions at ultrasound speed* [Changing the time of ultrasonic oscillation propagation in concrete for changing conditions of measurement]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of PSACEA]. 2019, no. 1, pp. 49–57. (in Ukrainian).
5. Kolokhov V.V. and Kolokhov O.V. *Zmina chasu poshyrennya ul'trazvukovykh kolyvan' u betoni za zminy umov provedennya vymiryuvan'* [Changing the time of ultrasonic oscillation propagation in concrete for changing conditions of measurement]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of PSACEA]. 2019, no. 2, pp. 95–104. (in Ukrainian).

6. Kolokhov V.V. and Kolokhov O.V. *Deyaki aspekty vymiryuvannya chasu poshyrennya ul'trazvukovykh kolyvan' u betoni* [Some aspects of measuring the time of propagation of ultrasonic vibrations in concrete]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of PSACEA]. 2019, no. 3, pp. 58–65. (in Ukrainian).
7. Shishkin A., Netesa N., and Scherba V. Effect of the iron-containing filler on the strength of concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5/6, no. 89, 2017, pp. 11–16.
8. Mori K., Spagnoli A., Murakami Y., Kondo G. and Torigoe I. A new non-contacting non-destructive testing method for defect detection in concrete. *NDT and E International*. 2002, vol. 35, iss. 6, pp. 399–406.
9. Schabowicz K. Ultrasonic tomography – The latest nondestructive technique for testing concrete members – Description, test methodology, application example. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2014, vol. 14, iss. 2, pp. 295–303.
10. Chen Jun, Zheng Xu, Yue Yu and Yangping Yao. Experimental characterization of granite damage using nonlinear ultrasonic techniques. *NDT and E International*. Editor-in-chief D.E. Chimenti. 2014, vol. 67, pp. 10–16.
11. Hassan A.M.T. and Jones S.W. Non-destructive testing of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC). A feasibility study for using ultrasonic and resonant frequency testing techniques. *Construction and Building Materials*. 2012, vol. 35, pp. 361–367.
12. Ari Hoda, Nazarian Soheil and Yuan Deren. Assessing sensitivity of impact echo and ultrasonic surface waves methods for nondestructive evaluation of concrete structures. *Construction and Building Materials*. 2014, vol. 71, pp. 384–391.
13. Kolokhov V.V. *Formalizatsiya procedury opredeleniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv betona i ee apparaturnoe obespechenie* [Formalization of the procedure for determining the physico-mechanical properties of concrete and its hardware]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Engineering]. Vol. 69, Dnipropetrovsk : PSACEA, 2013, pp. 231–236. (in Russian).
14. Kolokhov V.V. *Nekotorye aspekty primeneniya metodov nerazrushayuschego kontrolya svoystv betona* [Some aspects of the application of methods for non-destructive testing of concrete properties]. *Theoretical Foundations of Civil Engineering*. Polish–Ukrainian Transactions (conference). Warsaw, 2012, vol. 20, pp. 443–448. (in Russian).

Надійшла до редакції 13.10.2019 р.