

УДК 624.012.3:620.179.16

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.280519.95.441

## ЗМІНА ЧАСУ ПОШИРЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ У БЕТОНІ ЗА ЗМІНИ УМОВ ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ

КОЛОХОВ В. В.<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,

КОЛОХОВ О. В.<sup>2</sup>, студент

<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 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: [kolokhov@gmail.com](mailto:kolokhov@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-6353-4363

**Анотація.** Постановка проблеми. Визначення фізико-механічних характеристик матеріалу експлуатованих конструкцій за допомогою неруйнівних методів визначення має значні обмеження. Вони викликані відмінностями складу бетону, параметрами структури конструкції та умовами проведення вимірювань. Значний вплив на достовірність неруйнівних методів визначення має особистий фактор, що залежить від фахівця, який виконує визначення. **Мета дослідження.** Оцінити вплив зусилля притискання ультразвукових приладів під час «сухого контакту» та необхідність дотримання вимог виробників приладів щодо величини зусилля притискання приладу. **Методика.** Виміри часу поширення ультразвукових коливань проведено за допомогою приладу «Пульсар 1.1» за зміни зусилля притискання приладу до бетону зразка в межах рекомендованих виробниками приладу, та меншого. Статистична обробка отриманих результатів (із візуалізацією) виконана з використанням програмного комплексу EXEL. Результати. Проведені дослідження підтвердили необхідність урахування величини зусилля притискання приладу до поверхні бетону під час вимірювання часу поширення ультразвукових коливань. Визначено, що у разі зміни зусилля притискання приладу можна виділити декілька інтервалів, для яких залежність «час поширення ультразвукових коливань – зусилля притискання приладу» апроксимується лінійно. Розміри та взаєморозташування таких інтервалів суттєво залежать від відмінності параметрів поверхні бетону конструкції, зміни складу бетонної суміші та її властивостей, умов формування та тверднення бетону. Для всіх випробувань (у разі розгляду всієї серії зразків) розмах вибірки більший ніж межі довірчого інтервалу. Розглядаючи кожен із зразків окремо від інших з'ясували, що розмах вибірки перебуває в межах довірчого інтервалу. Висновки. Дослідження підтвердили вплив на результати вимірювань зусилля притискання приладу до поверхні, складу, умов формування та тверднення бетону. Підвищення точності визначення фізико-механічних характеристик матеріалу конструкцій можливо при врахуванні вказаних вище факторів

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

## ИЗМЕНЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

КОЛОХОВ В. В.<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,

КОЛОХОВ А. В.<sup>2</sup>, студент

<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, Днипро, 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 технологий строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днипро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: [kolokhov@gmail.com](mailto:kolokhov@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-6353-4363

**Аннотация.** **Постановка проблемы.** Определение физико-механических характеристик материала эксплуатируемых конструкций при помощи неразрушающих методов контроля имеет значительные ограничения. Эти ограничения вызваны различиями в составе бетона, параметрами структуры конструкции, а также условиями проведения измерений. Большое влияние на достоверность неразрушающих методов контроля имеет человеческий фактор, зависящий от уровня подготовки специалиста, который проводит измерения. **Цель.** Оценить влияние усилия прижима ультразвуковых приборов во время «сухого контакта» и необходимость соблюдения требований производителей приборов по величине усилия прижатия прибора. **Методика.** Измерение времени распространения ультразвуковых колебаний проведено при помощи прибора «Пульсар 1.1» при изменении усилия прижатия прибора к бетону образца в рекомендованном производителем прибора диапазоне и меньшим. Статистическая обработка полученных результатов (с визуализацией) выполнена

с использованием программного комплекса EXEL **Результаты.** Проведенные исследования подтвердили необходимость учёта величины усилия прижатия прибора к поверхности бетона при измерении времени распространения ультразвуковых колебаний. Установлено, что при изменении величины усилия прижатия прибора к поверхности бетона можно выделить несколько интервалов для которых зависимость «время распространения ультразвуковых колебаний – усилие прижатия прибора» аппроксимируется линейно. Размеры та взаиморасположение таких интервалов существенно зависит от изменений параметров поверхности бетону конструкции, изменение состава бетонной смеси и её свойств, условий формования и твердения бетона. Для всех испытаний (при рассмотрении всей серии образцов) размах выборки больше чем границы доверительного интервала. При рассмотрении каждого из образцов отдельно от остальных размах выборки находится в границах доверительного интервала. Выводы. Проведенные исследования подтвердили влияние на результаты измерений усилия прижима прибора к поверхности, состава и свойств бетонной смеси, условий формования и твердения бетона. Повышения точности определения физико-механических характеристик материала конструкций возможно при учёте вышеуказанных факторов.

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

## TIME CHANGE FOR THE PROPAGATION OF ULTRASONIC VIBRATIONS IN CONCRETE UNDER CHANGING THE CONDITIONS OF MEASUREMENTS

KOLOKHOV V.V.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,  
KOLOKHOV O.V.<sup>2</sup>, *Student*

<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 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: [kolokhov@gmail.com](mailto:kolokhov@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-6353-4363

**Abstract. Problem statement.** The determination of physico-mechanical characteristics of the material of the structures in operation using non-destructive testing methods has significant limitations. These restrictions are caused by differences in the composition of concrete, the parameters of the construction of the structure as well as the conditions of measurement. The human factor depends on the level of training of the specialist who carries out the measurements. **Purpose.** To evaluate the impact of ultrasonic devices pressing during the "dry contact" and the need to comply with the requirements of device manufacturers regarding the size of the force of pressing the device. **Methods.** The measurement of the propagation time of ultrasonic vibrations was carried out using the «Pulsar 1.1» device with a change in the force of pressing the device to the concrete of the sample in the range recommended by the device manufacturer and less. Statistical processing of the results obtained (with visualization) was performed using the EXEL software package. **Results.** Studies have confirmed the need to take into account the magnitude of the force pressing the device to the concrete surface when measuring the propagation time of ultrasonic vibrations. It has been established that with a change in the magnitude of the pressing force of the device to the concrete surface, several intervals can be distinguished for which the dependence “propagation time of ultrasonic vibrations – the pressing force of the device” is approximated linearly. The dimensions and interposition of such intervals substantially depend on changes in the surface parameters of the concrete structure, change in the composition of the concrete mix and its properties, conditions of concrete molding and hardening. For all tests (when viewing the entire series of samples), the sample size is larger than the limits of the confidence interval. When considering each of the samples separately from the rest of the sample size is within the limits of the confidence interval. **Conclusions.** Studies have confirmed the effect on the measurement results of the pressure of the device to the surface, the composition and properties of the concrete mix, the molding conditions and the hardening of the concrete. Improving the accuracy of determining the physico-mechanical characteristics of the material of the structures is possible taking into account the mentioned above factors.

**Keywords:** stress-strain state; physico-mechanical characteristics; non-destructive control; ultrasonics

**Постановка проблеми.** Будівництво потребує значної кількості визначення фізико-механічних характеристик (ФМХ) бетону. Зазвичай для визначення ФМХ бетону та дослідження його структури застосовують ультразвукові прилади [1; 6]. Надійність визначення досягається коригуванням тарувальних залежностей,

визначених попередньо. Але, як показано в [7], матеріал конструкцій не завжди відповідає проектним значенням, а на результати вимірювання впливає ще й рівень напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій [8]. Окрім того, оскільки не завжди можливе використання наскрізного прозвучування конструкцій, для

проведення визначення використовують так званий «сухий контакт». Будівельні норми [9] не рекомендують (але допускають) його використання. Інструкції для користувачів ультразвукових приладів рекомендують притискання приладу під час проведення вимірів із зусиллям 5...10 кг [10; 11]. При цьому прилади не комплектуються засобами вимірювання зусилля притискання. На будівельному майданчику (або у будівлі, що експлуатується) не завжди можливо відтворити умови, аналогічні тим, що були встановлені при побудові тарувальних залежностей у лабораторії.

**Мета дослідження** – оцінити вплив зусилля притискання ультразвукових приладів під час «сухого контакту» та необхідність дотримання вимог виробників приладів щодо величини зусилля притискання приладу.

**Виклад матеріалу.** Експерименти проведено з двома серіями зразків виготовлених із важкого бетону. Загальний вид зразків однієї з серій представлено на рисунку 1. Як заповнювач використано гранітний щебінь фракції 5...20 мм Рибальського кар'єру та дніпровський річковий пісок. Зразки виготовлено розміром 100 × 100 × 400 мм. Перша серія – 4 зразки з важкого бетону (заповнювачі: щебінь фракції 5...20 мм та дніпровський пісок). Друга серія – 5 зразків з того ж складу бетону, що й перша серія, але із збільшенням кількості цементу на 25 % зі збереженням водоцементного співвідношення.

Випробовування проводились у віці 28 діб.



Рис. 1. Зовнішній вигляд зразків однієї з серій / Fig. 1 Appearance of samples of one of the series

Протягом експериментів вимірювався час поширення ультразвукових коливань (ЧПУЗК) на постійній базі, що зумовлено конструкцією приладів. Застосовано прилад «Пульсар 1.1» (рис. 2). База вимірювання складала 120 мм. Визначення проводилось на двох бічних поверхнях зразків. Одна поверхня контактувала з металевою опалубкою під час виготовлення та тверднення. Друга поверхня була вільна від контакту з опалубкою.

Для кожного зразка визначався ЧПУЗК в чотирьох місцях на бічній поверхні. Зусилля притискання приладу до зразка змінювалось від умовного нуля (вага лише самого приладу) до 10 кг. Крок зміни складав 1,0 кг на всіх етапах, крім першого, для якого зусилля змінилось від власної ваги приладу до 1 кг. Зусилля притискання обрано в межах рекомендацій інструкції для користувачів.



Рис. 2. Вимірювання часу поширення УЗК за допомогою «Пульсар 1.1» / Fig. 2. The measurement of the propagation time of ultrasonic oscillations was carried out using the «Pulsar 1.1»

Для отримання результатів виконано статистичну обробку за допомогою засобів EXEL, а саме визначені: середнє значення ЧПУЗК на кожному етапі; максимальне та мінімальне значення; стандартне відхилення; коефіцієнт варіації, критерій Стьюдента та межі довірчого інтервалу із забезпеченістю 0,95.

Візуалізація статистичних розрахунків отриманих результатів виконана у вигляді

графіків. Вказані дані отримано для кожного зразка серії та для всієї серії.

На рисунках 3 та 4 наведено результати вимірювання ЧПУЗК для зразків першої серії на поверхні, що контактувала з металевою опалубкою під час виготовлення (рис. 3) та яка не контактувала з опалубкою (рис. 4). А на рисунку 5 – результати вимірювань ЧПУЗК спільно для всіх зразків серії.

Легко помітити, що для кожного зразка існує два інтервали, в яких за зміни зусилля притискання ЧПУЗК змінюється

«повільно». Між цими інтервалами є третій, в якому відбувається різка зміна ЧПУЗК. Однак для кожного зразка цей інтервал має свої межі. Для різних зразків інтервал із різкими змінами ЧПУЗК складає від 20 до 45 % від всього інтервалу вимірювань. Лише для одного зразка цей інтервал перебуває в межах рекомендованих виробниками для проведення вимірювань. Для більшості зразків рекомендований виробниками приладів інтервал складає лише частину інтервалу, в якому ЧПУЗК змінюється «повільно».

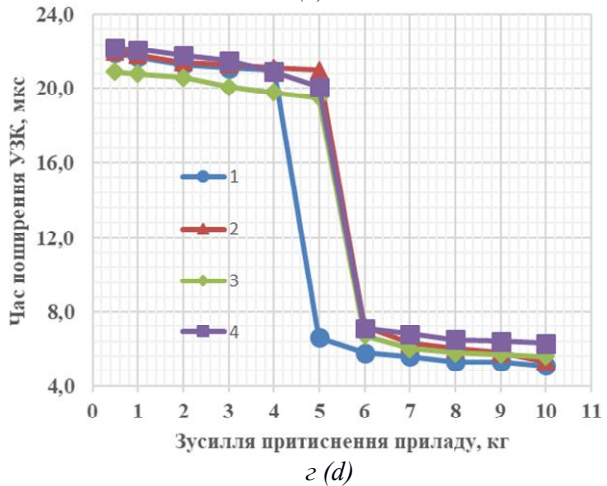
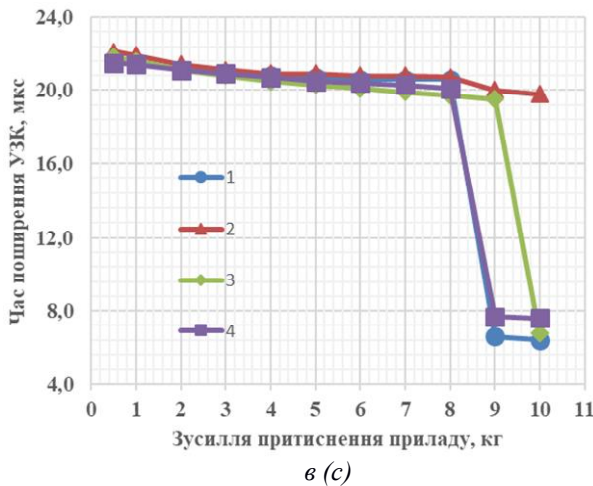
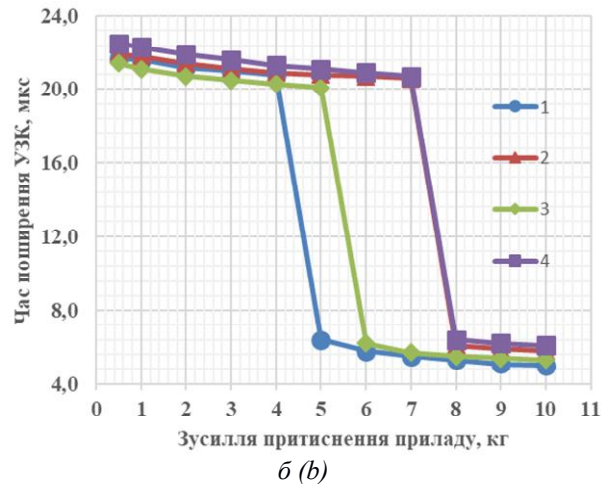
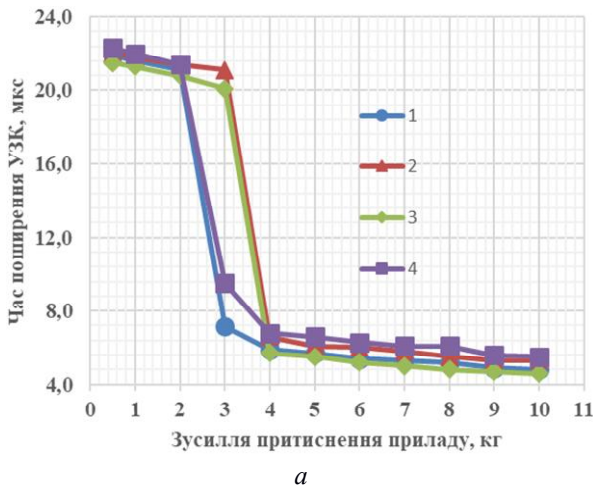


Рис. 3. Результати вимірювання ЧПУЗК за зміни зусилля притискання для зразків першої серії на поверхні, що під час виготовлення контактувала з металевою опалубкою: а – зразок №1; б – зразок № 2; в – зразок № 3; г – зразок № 4 / Fig. 3. Results of the measurement of the propagation time of ultrasonic oscillations when changing the pressing force for samples of the first series on the surface, which during manufacture was in contact with the metal formwork: а – sample no. 1; б – sample no. 2; в – sample no. 3; д – sample no. 4

Результати статистичної обробки отриманих даних (рис. 3–5) наведено на рисунках 6–8.

Для кожного зразка результати вимірювань перебувають в межах довірчого інтервалу із забезпеченістю 0,95.

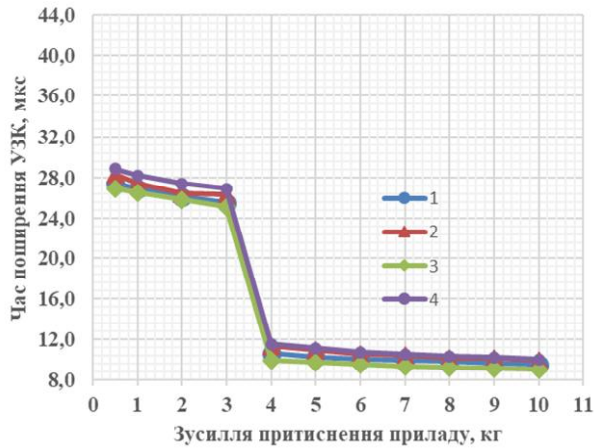
Для поверхонь, що контактували з опалубкою в межах «повільної» зони коефіцієнт варіації не перевищує 9,6 %, а в межах «різкої» – 38,2 %.

Для поверхонь, що не контактували з опалубкою в межах «повільної» зони,

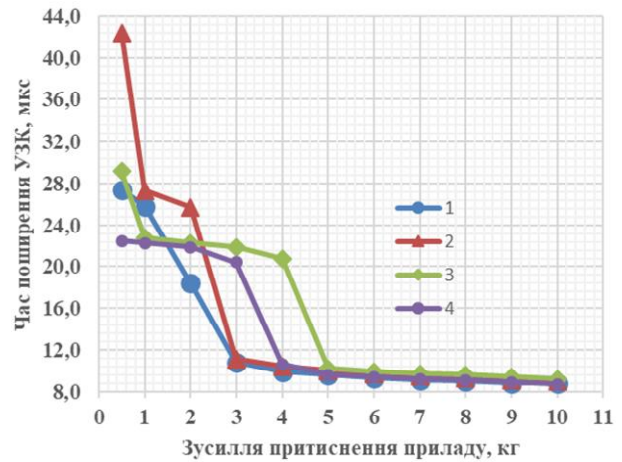
коефіцієнт варіації не перевищував 10,2 %. Для інтервалів, у яких зміни ЧПУЗК відбувались різко, коефіцієнт варіації змінюється з 41,7 до 66,2 % .

Необхідно зазначити, що наведені результати підтверджують вплив умов тверднення (наявність або відсутність опалубки поруч із поверхнею бетону) на властивості поверхні бетону конструкції. Легко помітити, що «повільна» зона для поверхні, що не контактувала з металевою

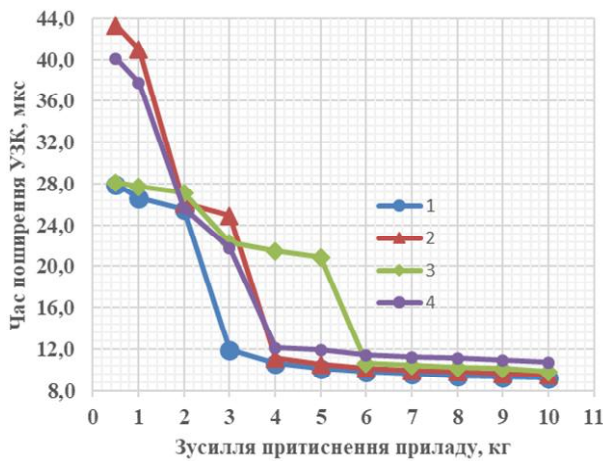
опалубкою, краще визначена у разі більшого зусилля притискання приладу. Оскільки ця поверхня зразка була зверху під час формування, то вірогідно такі результати стали наслідком ще й гравітаційної поляризації бетону, яка спричинює відмінності у ФМХ для шарів бетону, що перебували на різній висоті під час формування та на початку тверднення бетону.



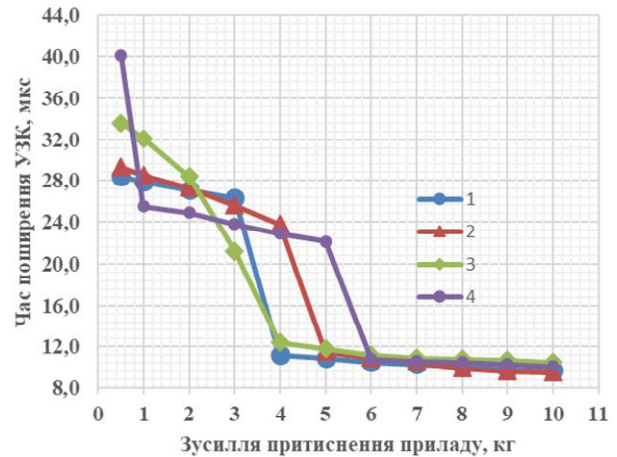
а



б (b)

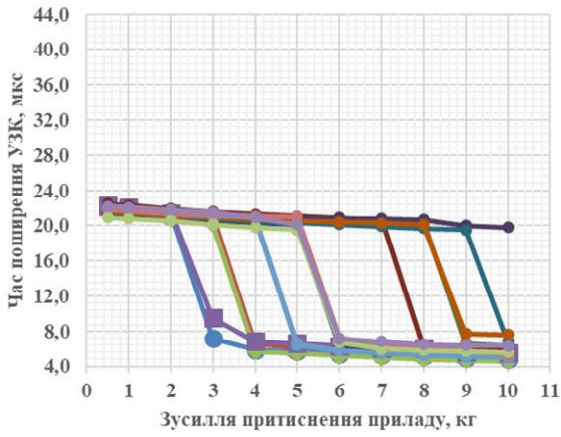


в (c)

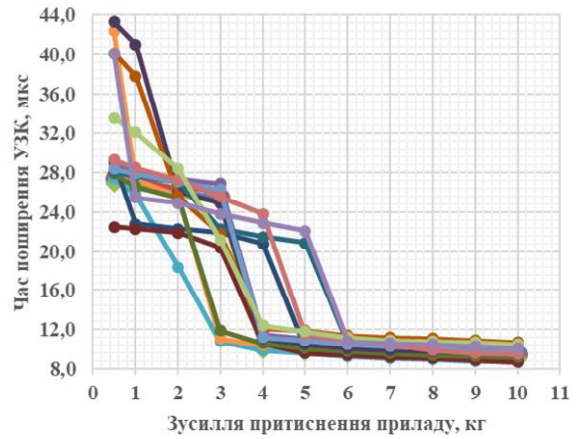


г (d)

Рис. 4. Результати вимірювання ЧПУЗК за зміни зусилля притискання для зразків першої серії на поверхні, що під час виготовлення не контактувала з опалубкою: а – зразок № 1; б – зразок № 2; в – зразок № 3; г – зразок № 4 / Fig. 4. Results of the measurement of the propagation time of ultrasonic oscillations when changing the pressing force for samples of the first series on the surface, which during the manufacturing did not contact the formwork: а – sample no. 1; б – sample no. 2; в – sample no. 3; г – sample no. 4

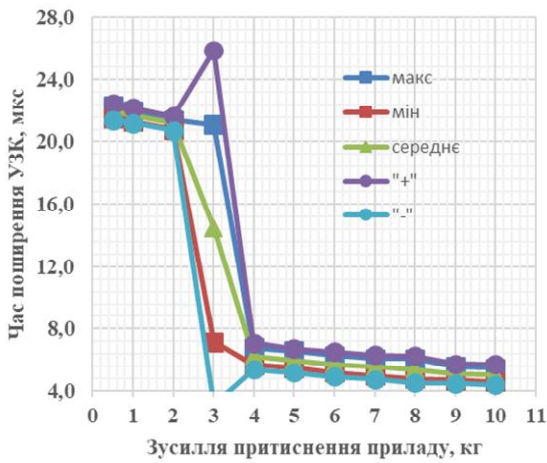


a

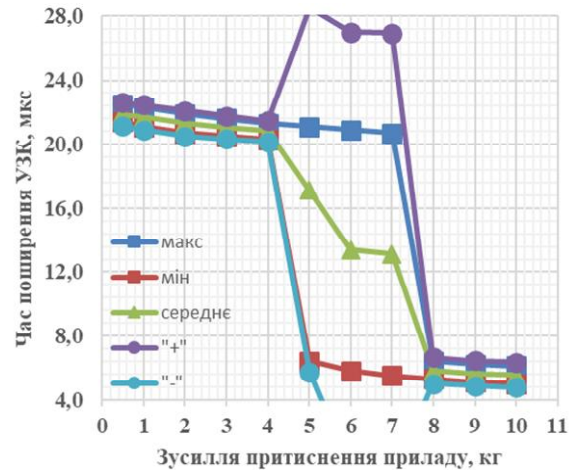


б (b)

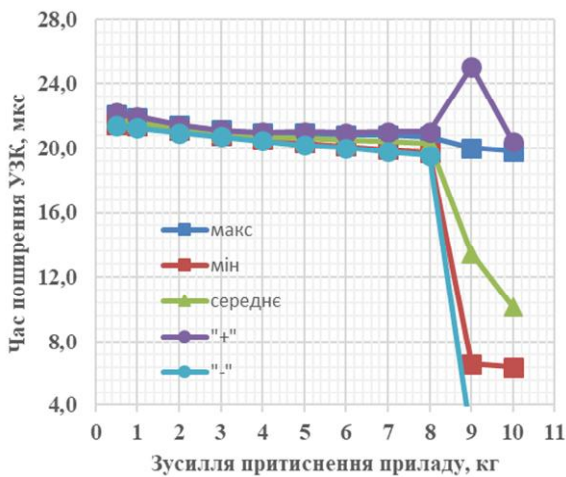
Рис.5. Результати вимірювання ЧПУЗК за зміни зусилля притиснення для зразків першої серії на поверхні, що під час виготовлення: а – контактувала з металевою опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 5. Results of the measurement of the propagation time of ultrasonic oscillations when changing the pressing force for samples of the first series on the surface, which during the manufacturing: a – process was in contact with the metal formwork; b – did not contact the formwork



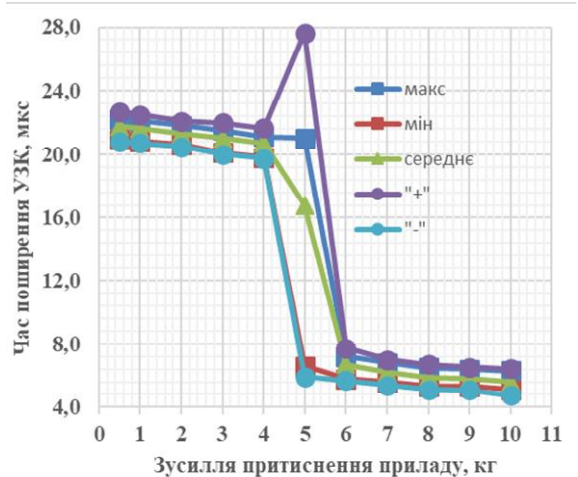
a



б (b)

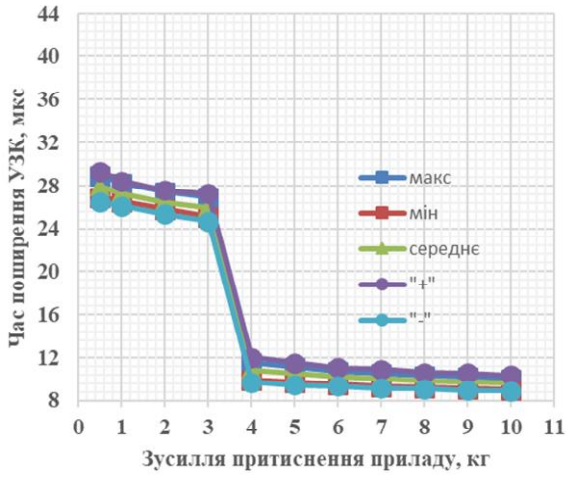


в (c)

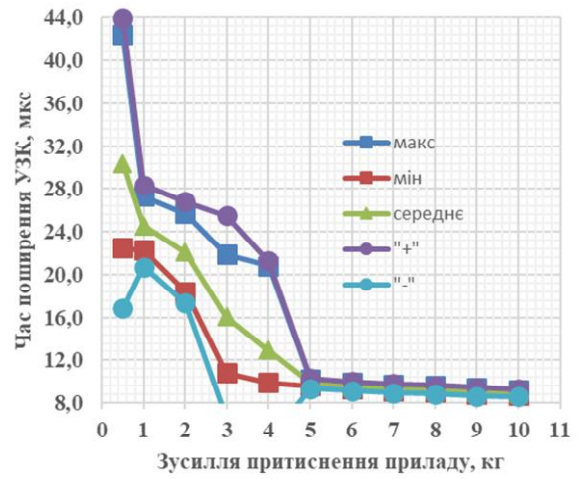


г (d)

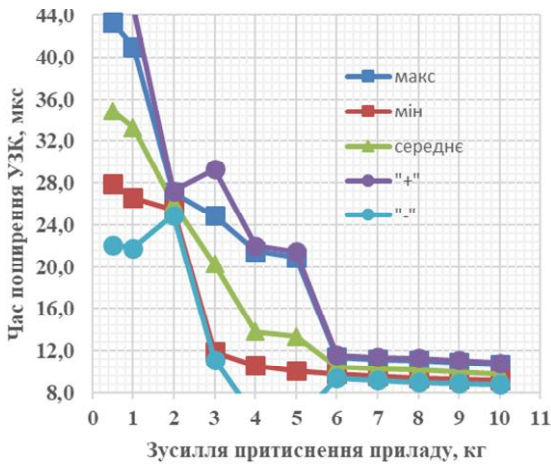
Рис. 6. Результати статистичної обробки результатів вимірювання ЧПУЗК у зразках першої серії на поверхні, що під час виготовлення контактувала з металевою опалубкою: а – зразок № 1; б – зразок № 2; в – зразок № 3; г – зразок № 4 / Fig. 6. Results of statistical processing of the results of measurement of the propagation time of ultrasonic oscillations in samples of the first series on the surface, which during the manufacturing process was in contact with the metal formwork: a – sample no. 1; b – sample no. 2; c – sample no. 3; d – sample no. 4



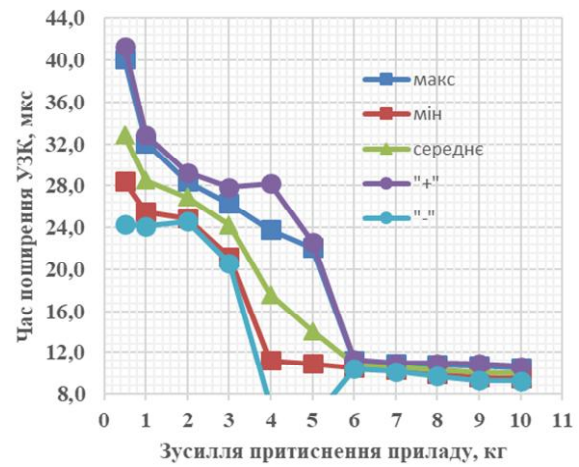
а



б (b)

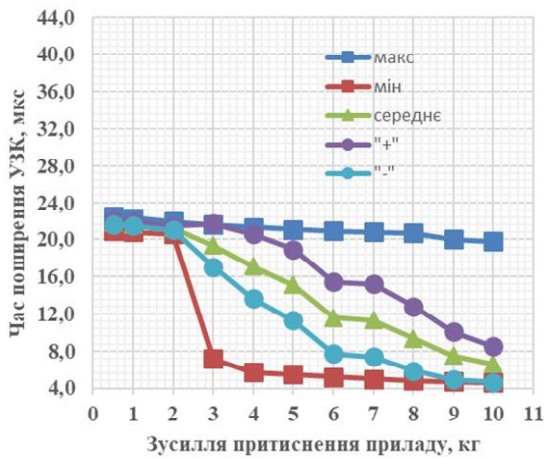


в (c)

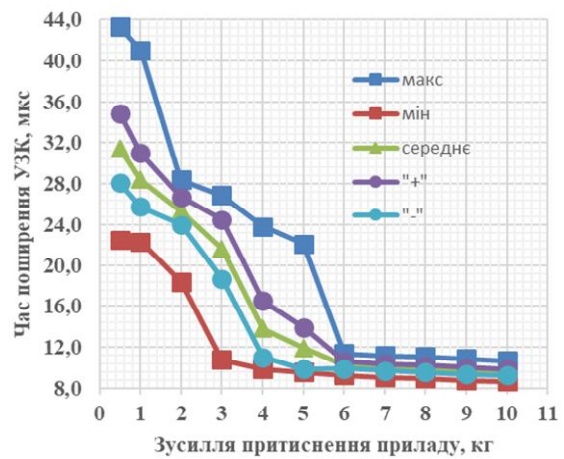


г (d)

Рис. 7. Результати статистичної обробки результатів вимірювання ЧПУЗК у зразках першої серії, на поверхні, що під час виготовлення не контактувала з опалубкою: а – зразок № 1; б – зразок № 2; в – зразок № 3; г – зразок № 4 / Fig. 7. Results of statistical processing of the results of measurement of the propagation time of ultrasonic oscillations in samples of the first series on the surface, which during the manufacturing did not contact the formwork: а – sample no. 1; б – sample no. 2; в – sample no. 3; д – sample no. 4



а



б (b)

Рис. 8. Результати статистичної обробки результатів вимірювання ЧПУЗК у зразках першої серії, на поверхні, що під час виготовлення: а – контактувала з металевою опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 8. Results of statistical processing of the results of measurement of the propagation time of ultrasonic oscillations in samples of the first series on the surface, which during the manufacturing: а – process was in contact with the metal formwork; б – did not contact the formwork

Поступове збільшення зусилля притискання приладу до зразка викликає занурення концентраторів приладу в бетон.

Необхідно також урахувати лінійний характер змін ЧПУЗК у разі збільшення зусилля притискання, який також впливає на точність тарувальних залежностей, що використовуються у дослідженнях.

На рисунках 6–8 наведено візуалізацію результатів статистичної обробки даних щодо вимірювання ЧПУЗК для зразків першої серії на поверхні, яка контактувала з металевою опалубкою під час виготовлення (рис. 6), яка не контактувала з опалубкою (рис. 7) та порівняння результатів під час сумісної обробки для всіх зразків (рис. 8).

Аналіз показує, що розглядати всі зразки, як такі, що належать до однієї генеральної сукупності, можливо лише в межах частини інтервалу зміни зусилля притискання приладу. Спроби вилучити один із зразків (або два зразки) із розрахунку не змінили характеру отриманих залежностей, а лише змінили межі зони з прийнятним значенням коефіцієнта варіації.

На рисунках 9 та 10 показано результати вимірювання ЧПУЗК та статистичної обробки даних усіх зразків другої серії на бічних поверхнях, що контактували та що не контактували з опалубкою у процесі виготовлення

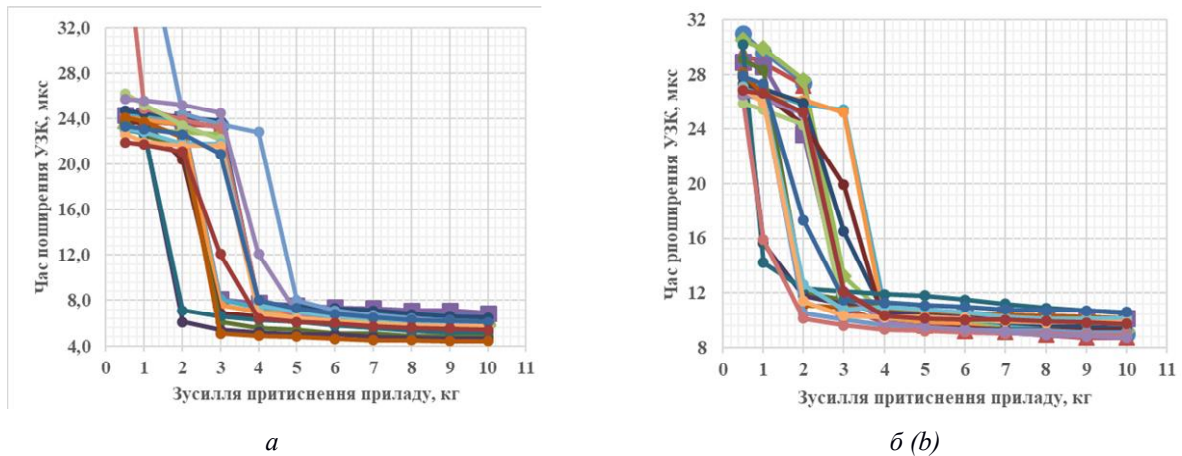


Рис. 9. Результати вимірювання ЧПУЗК за зміни зусилля притискання для зразків другої серії на поверхні, що під час виготовлення: а – контактувала з металевою опалубкою ; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 9. Results of the measurement of the propagation time of ultrasonic oscillations when changing the pressing force for samples of the second series on the surface, which during the manufacturing: a – process was in contact with the metal formwork; b – did not contact the formwork

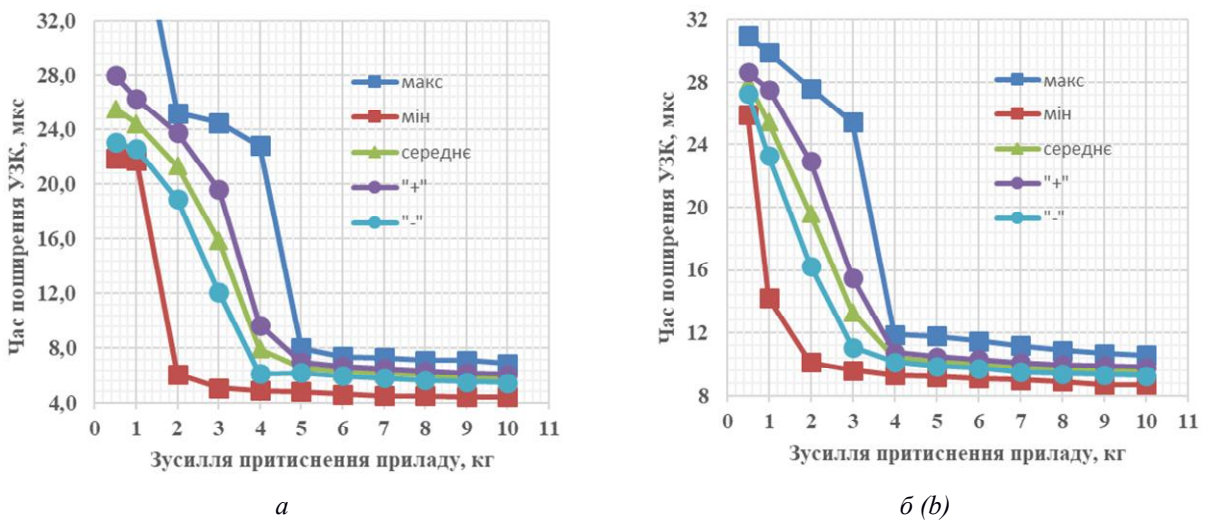


Рис. 10. Результати статистичної обробки результатів вимірювання ЧПУЗК у зразках першої серії, на поверхні, що під час виготовлення: а – контактувала з металевою опалубкою; б – не контактувала з опалубкою / Fig. 10. Results of statistical processing of the results of measurement of the propagation time of ultrasonic oscillations in samples of the second series on the surface, which during the manufacturing: a – process was in contact with the metal formwork; b – did not contact the formwork



Результатів вимірювання для зразків другої серії демонструють аналогічний характер зміни. Відмінності у залежності ЧПУЗК від зусилля притискання приладу це прояв зміни властивостей структури зразка, що являють собою відображення більш високої рухливості бетонної суміші з підвищеною кількістю цементу у складі бетону. Для всіх випробувань (у разі розгляду всієї серії зразків) розмах вибірки більший, ніж межі довірчого інтервалу. Розгляд кожного зразка окремо від інших показує, що розмах вибірки перебуває в межах довірчого інтервалу. Тобто незначні відмінності в умовах формування та твердіння бетону роблять кожну конструкцію (кожний зразок) дуже індивідуальним, а використання наперед побудованих тарувальних залежностей показує недостатню точність.

Вдосконалення методики визначення властивостей бетону ультразвуковим методом її можливо використати як одну із складових перевірконого розрахунку конструкцій [12; 13] та для оцінки технічного стану конструкцій будівель та споруд.

**Висновки.** Підтверджено вплив на результати вимірювань зусилля притискання приладу до поверхні, складу, умов формування та твердіння бетону.

Аналіз наведених результатів свідчить, що використання для визначення ФМХ матеріалу конструкцій рекомендованих виробником ультразвукових приладів зусиль притискання не дозволяє отримати достовірні результати вимірювань. Підвищення точності визначення ФМХ матеріалу конструкцій можливе за умови врахування вказаних вище факторів

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. 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.
3. Chen Jun. Experimental characterization of granite damage using nonlinear ultrasonic techniques / Jun Chen, Zheng Xu, Yue Yu, Yangping Yao // *NTD and E International*. Editor-in-chief D. E. Chimenti. – 2014. – Vol. 67. – Pp. 10–16.
4. 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.
5. 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.
6. Warnemuende K. Actively modulated acoustic nondestructive evaluation of concrete / Kraig Warnemuende, Hwai-Chung Wu // *Cement and Concrete Research*. – 2004. – Vol. 34. – Pp. 563–570.
7. Kolokhov Victor. 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.
8. Колохов В. В. Вплив рівня напруги на швидкість поширення ультразвукових коливань у бетонних конструкціях / В. В. Колохов, Ю. О. Кожанов, Д. М. Зезюков / *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. – 2019. – № 1. – С. 49–57.
9. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності : ДСТУ Б В.2.7-226:2009. [Чинний від 2010-09-01]. – Київ : ДП Укрархбудінформ, 2010. – 27 с. (Національний стандарт України).
10. Измеритель прочности бетона и стройматериалов Novotest ИПСМ / Novotest. Приборы контроля и качества : каталог // ООО НТИЦ «Промышленное оборудование и технологии». – Новомосковск. – 2012. – 26 с. – Режим доступа : [https://novotest.ua/media/novotest/novotest\\_catalogue\\_rus.pdf](https://novotest.ua/media/novotest/novotest_catalogue_rus.pdf)
11. Novotest. Руководство по эксплуатации. Измеритель прочности Novotest ИПСМ / ООО НТИЦ «Промышленное оборудование и технологии». – Новомосковск. – 2012. – 37 с. – Режим доступа: [https://novotest.ua/images/passporta/kontrol-stroitelnyh-materialov/%D0%A0%D0%AD\\_%D0%98%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%98%D0%9F%D0%A1%D0%9C%20V3.1.pdf](https://novotest.ua/images/passporta/kontrol-stroitelnyh-materialov/%D0%A0%D0%AD_%D0%98%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%98%D0%9F%D0%A1%D0%9C%20V3.1.pdf)
12. 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.

13. 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. 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.
2. 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.
3. Chen Jun, Zheng Xu, Yue Yu and Yangping Yao. Experimental characterization of granite damage using nonlinear ultrasonic techniques. *NTD and E International*. Editor-in-chief D. E. Chimenti, 2014, vol. 67, pp. 10–16.
4. Hassan A.M.T. and Jones S. W. Non-destructive testing of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPC). A feasibility study for using ultrasonic and resonant frequency testing techniques. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 35, pp. 361–367.
5. 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.
6. Warnemuende K. and Wu Hwai-Chung. Actively modulated acoustic nondestructive evaluation of concrete. *Cement and Concrete Research*, 2004, vol. 34, pp. 563–570.
7. Kolokhov V., Sopilniak A., Gasii G. and Kolokhov A. 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.
8. Kolokhov V.V., Kozhanov Yu.O. and Zezyukov D.M. *Vpliv rivnyia naprugi na shvidkist' poshirennyia ul'trazvukovih kolivan' u betonih konstrukciyah* [Influence of the voltage level on the speed of the propagation of ultrasonic vibrations in concrete structures]. *Visnik Prydniprovs'koï derzhavnoï akademii budivnicstva ta arhitekturi* [Bulletin of Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2019, no. 1, pp. 49–57. (in Ukrainian).
9. *Betoni. Ul'trazvukovij metod viznachennya micnosti : DSTU B V.2.7-226:2009* [Concretes. Ultrasonic method for determining strength: DSTU B V.2.7-226: 2009]. Effective from 2010-09-01, Kyiv: DP Ukrarahbudinform, 2010, 27 p. (National Standard of Ukraine). (in Ukrainian).
10. *Izmeritel' prochnosti betona i strojmaterialov Novotest IPSM* [Measurement of strength of concrete and building materials Novotest IPSM]. *Novotest. Pribory kontrolya i kachestva* [Novotest. Control and quality devices: catalog]. Scientific and industrial center "Industrial equipment and technologies", Novomoskovsk, 2012, 26 p. (in Russian).
11. *Novotest. Rukovodstvo po `ekspluatácii. Izmeritel' prochnosti Novotest IPSM* [Novotest. Operating manual. Novotest IPSM]. SLR Scientific-Technical Center "Industrial Equipment and Technologies", Novomoskovsk, 2012, 37 p. (in Russian).
12. Kolokhov V.V. *Formalizaciya procedury opredeleniya fiziko-mehaničeskikh svojstv betona i ee apparaturnoe obespečenie* [Formalization of the procedure for determining the physicommechanical properties of concrete and its hardware]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Engineering]. 2013, vol. 69, pp. 231–236. (in Russian).
13. Kolokhov V.V. *Nekotorye aspekty primeneniya metodov nerazrushayuschego kontrolya svojstv 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: 29.03.2019 р.