

УДК 624.012.3:620.179.16

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260319.49.405

ВПЛИВ РІВНЯ НАПРУГИ У БЕТОНІ КОНСТРУКЦІЙ НА ШВИДКІСТЬ УЛЬТРАЗВУКУ

КОЛОХОВ В. В.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

КОЖАНОВ Ю. О.², канд. техн. наук, доц.,

ЗЕЗЮКОВ Д. М.³, канд. техн. наук, доц.

^{1*} 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, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

² 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: kozhanov_yuriy@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4662-943X

³ 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: denis_zeziukov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7451-992X

Анотація. Постановка проблеми. Забезпечення надійної експлуатації будівель та споруд спирається на визначення фізико-механічних характеристик матеріалу їх конструкцій, яке для більшості випадків можливе лише із застосуванням неруйнівних методів визначення фізико-механічних характеристик. На достовірність неруйнівних методів визначення значний вплив має рівень напружено-деформованого стану конструкцій, який достатньо проблематично визначити в конструкціях, що експлуатуються. **Мета дослідження.** Оцінити вплив рівня напружено-деформованого стану під час проведення визначення фізико-механічних характеристик у конструкціях, що експлуатуються та можливість удосконалення цієї методики. **Методика.** Порівняння проведених вимірів за допомогою приладів та прямих визначень рівня напружено-деформованого стану та статистична обробка отриманих результатів (із візуалізацією) проведено з використанням програмного комплексу EXEL. **Результати.** Дослідження підтвердили необхідність урахування рівня напружено-деформованого стану конструкції для оцінювання міцності бетону за допомогою тарувальних залежностей. Показано вплив на швидкість поширення ультразвуку в бетоні конструкції напряму, в якому розташовується прилад вимірювань. Визначено вплив рівня напружено-деформованого стану конструкції на співвідношення швидкості ультразвуку в бетоні у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Показано, що для різних типів бетонів характер залежностей не змінюється. Значні зміни співвідношення між результатами вимірювань у двох взаємно перпендикулярних напрямках свідчать про утворення дефектів структури конструкції. **Висновки.** Підтверджено вплив рівня напружено-деформованого стану у конструкції та напрямку, в якому розташовано прилад вимірювання, на результати визначення швидкості ультразвуку. Для підвищення точності визначення фізико-механічних характеристик необхідно врахування вказаних впливів під час удосконалення методики проведення вимірів. Порівняння швидкостей ультразвуку на різних гранях конструкції може бути використано як додатковий чинник при діагностуванні її технічного стану.

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

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОНЕ КОНСТРУКЦИЙ НА СКОРОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА

КОЛОХОВ В. В.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

КОЖАНОВ Ю. А.², канд. техн. наук, доц.,

ЗЕЗЮКОВ Д. М.³, канд. техн. наук, доц.

^{1*} 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, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

² 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: kozhanov_yuriy@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4662-943X

³ 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: denis_zeziukov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7451-992X

Аннотация. Постановка проблемы. Обеспечение надежной эксплуатации зданий и сооружений опирается на определение физико-механических характеристик материала их конструкций, которое для большинства случаев возможно только с применением неразрушающих методов контроля физико-механических

характеристик. На достоверность неразрушающих методов контроля большое влияние оказывает уровень напряженно-деформированного состояния конструкций, который достаточно проблематично определить в эксплуатируемых конструкциях. **Цель исследования.** Оценить влияние уровня напряженно-деформированного состояния при проведении определения физико-механических характеристик в эксплуатируемых конструкциях и возможность усовершенствования этой методики. **Методика.** Сравнение проведенных измерений с помощью приборов неразрушающих методов контроля с прямыми определениями уровня напряженно-деформированного состояния и статистическая обработка полученных результатов (с визуализацией) проведена с использованием программного комплекса EXEL. **Результаты.** Проведенные исследования подтвердили необходимость учета уровня напряженно-деформированного состояния конструкции при оценке прочности бетона с помощью тарировочных зависимостей. Показано отличие скорости ультразвука в бетоне конструкции в зависимости от направления, в котором располагается прибор измерений. Определено влияние уровня напряженно-деформированного состояния конструкции на соотношение скоростей распространения ультразвуковых колебаний в бетоне в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Показано, что для разных типов бетонов характер зависимостей не меняется. Значительные изменения соотношения между результатами измерений в двух взаимно перпендикулярных направлениях свидетельствуют об образовании дефектов структуры конструкции. **Выводы.** Подтверждено влияние уровня напряженно-деформированного состояния в конструкции и направления, в котором расположен прибор измерения на результаты определения скорости ультразвука. Для повышения точности определения физико-механических характеристик необходим учет указанных воздействий при усовершенствовании методики проведения измерений. Сравнение скоростей ультразвука на разных гранях конструкции может быть использовано как дополнительный фактор при диагностировании ее технического состояния.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние; физико-механические характеристики; неразрушающий контроль; ультразвук

INFLUENCE OF STRESS LEVEL IN CONCRETE CONSTRUCTIONS AT ULTRASOUND SPEED

KOLOKHOV V.V.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
KOZHANOV YU.O.², *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
ZEZIUKOV D.M.³, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

^{1*} 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, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

² 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: kozhanov_yurij@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4662-943X

³ 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: denis_zeziukov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7451-992X

Abstract. Problem statement. Ensuring the reliable operation of buildings and structures relies on the determination of the physicomaterial characteristics of the material of their structures, which for most cases is possible only with the use of non-destructive methods of determining the physicomaterial characteristics. The reliability of non-destructive control methods is greatly influenced by the level of stress-strain state of structures, which is quite difficult to determine in the structures in use. **Purpose.** To improve the accuracy of determining the physicomaterial characteristics of materials of construction, it is necessary to develop a technique that would allow to take into account the level of stress-strain state when conducting determinations in structures that are in operation. **Methods.** Comparison of measurements with the help of non-destructive testing methods with direct determinations of the level of stress-strain state and statistical processing of the results obtained (with visualization) was carried out using the EXEL software package. **Results.** Studies have confirmed the need to take into account the level of stress-strain state of the structure when assessing the strength of concrete using calibration dependencies. The difference between the ultrasound velocity in the concrete of the structure depending on the direction, in which the measurement device is located, is shown. The influence of the level of stress-strain state of the structure on the ratio of the propagation speeds of ultrasonic vibrations in concrete in two mutually perpendicular directions is determined. It is shown that for different types of concrete the nature of the dependencies does not change. Significant changes in the ratio between the results of measurements in two mutually perpendicular directions indicate the formation of structural defects of the structure. **Conclusions.** Studies have confirmed the effect of the stress-strain state on the results of measurements of the ultrasound velocity and allow to use the above mentioned method to determine the areas of the structure in which the formation of structural defects is possible.

Keywords: stress-strain state; physicomaterial characteristics; non-destructive control; ultrasound

Вступ. Надійна експлуатація будівель та споруд забезпечується відповідністю фізико-механічних характеристик (ФМХ) матеріалу їх конструкцій проектним параметрам, незмінністю ФМХ під час експлуатації за сталих зовнішніх впливів та навантажень. Наведені в [1] дані свідчать про суттєві розбіжності між дійсними та проектними значеннями ФМХ матеріалу конструкцій. В умовах реконструкції або проведення робіт з оцінювання технічного стану будівель необхідно визначення властивостей будівельних матеріалів, що складають конструкції, з подальшим проведенням на їх підставі перевірочних розрахунків. Для виконання, здебільше можливе застосування лише неруйнівних методів визначення (НМВ) ФМХ. Один із найбільш поширених НМВ ФМХ – ультразвуковий. Серед прикладів його застосування можна навести роботи різних дослідників [2–8]. Однак на достовірність результатів НМВ значно впливає рівень напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій. Для більшості приладів, що застосовують у дослідженнях, врахувати відмінності рівня НДС у конструкції достатньо проблематично або зовсім неможливо. Умови, за яких застосовують тарувальні залежності [9–11], що використовують ультразвукові прилади, відрізняються від тих за яких вони були встановлені. Для підвищення точності визначення ФМХ матеріалів конструкції необхідно розробити методику, яка б дозволила враховувати рівень НДС у процесі проведення визначень у конструкціях, що експлуатуються.

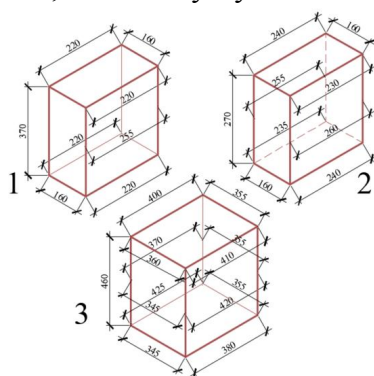


Рис. 1. Розміри зразків: 1, 2 – важкий бетон; 3 – керамзитобетон / Fig. 1. Dimensions of samples: 1, 2 – heavy concrete; 3 – claydite-concrete

Мета дослідження – оцінити вплив рівня напружено-деформованого стану під час проведення визначення ФМХ у конструкціях, що експлуатуються та можливість удосконалення цієї методики.

Виклад матеріалу. Експерименти проведено зі зразками важкого та керамзитобетону, які одбиралися під час реконструкції зі стінових керамзитобетонних панелей та панелей з важкого бетону багатоповерхового панельного житлового будинку. Фрагменти та зразки з них було вирізано без застосування ударного інструменту, щоб унеможливити появу дефектів структури бетону конструкцій, які б не були пов’язані з експлуатацією конструкцій. Розміри зразків наведені на рисунку 1.

Необхідно зауважити, що зразки з керамзитобетону мали форму, наближену до кубічної, а форма зразків із важкого бетону більше наближена до призматичної. Зовнішній вигляд зразка до випробувань показаний на рисунку 2.

Під час виконання роботи застосовано прилад «ПУЛЬСАР-1», який дозволяє визначати швидкість ультразвукових коливань (УЗК) на підставі вимірювання часу поширення на постійній базі. База вимірювання для цього приладу складає 120 мм. У використаній комплектації прилад реалізує поверхневе прозвучування.

Виміри проводились за різного рівня стискового зусилля.

Навантаження зростало ступенями з кроком 5 т.

Напруження під час руйнування зразків із важкого бетону складало $12,39 \pm 0,96$ МПа, а для зразків із керамзитобетону $9,52 \pm 0,24$ МПа відповідно.



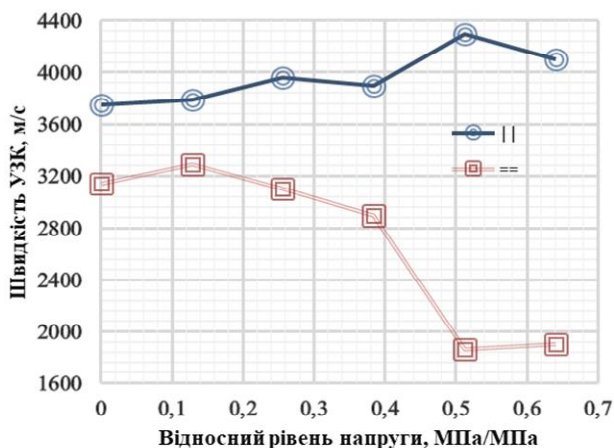
Рис. 2. Зразок з важкого бетону до випробувань / Fig. 2 Sample heavy concrete for testing

Характер руйнування зразків з важкого бетону представлено на рисунку 3.

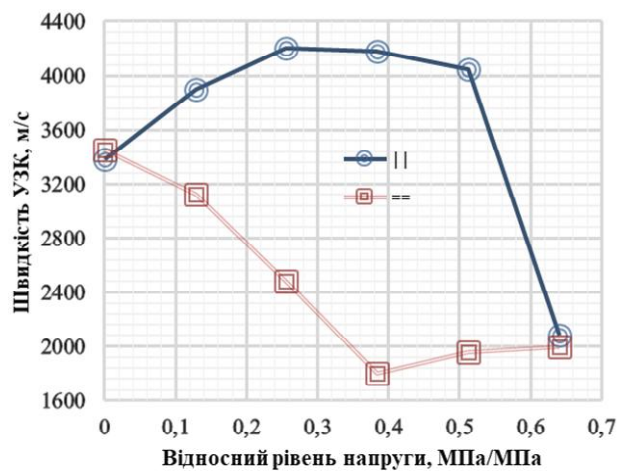


Рис. 3. Характер руйнування зразків із важкого бетону / Fig. 3. The nature of the destruction of samples of heavy concrete

Виміри проводились за схемою, що наведена на рисунку 4. Але розміри зразків Але розміри зразків та конструкція вимірювального пристрою не дозволили в повній мірі реалізувати задані (A1 та A2) зразків із керамічного бетону малюна поверхні поверхні зразків розчину. Для цих зразків визначення проводилось із чотирьох боків. Для зразків із важкого бетону виміри проводились тільки на поверхнях A1 та A2. Визначення не проводилось на поверхнях B1 та B2, оскільки отримати належну належну якість поверхні для вимірів було не можливо.



а



б (b)

Рис. 5. Залежність «швидкість УЗК - рівень напруги в частках від руйнівної» на поверхнях зразка № 1: а – А1; б – А2. Прилад вимірювання розташований: у вертикальній площині – ||; у горизонтальній площині – == / Fig. 5 The addition of the "ultrasound speed – the voltage level in fractions of the destructive" on the surfaces of sample no. 1: а – А1; б – А2. The measuring device is located: in the vertical plane – ||; in the horizontal plane – ==

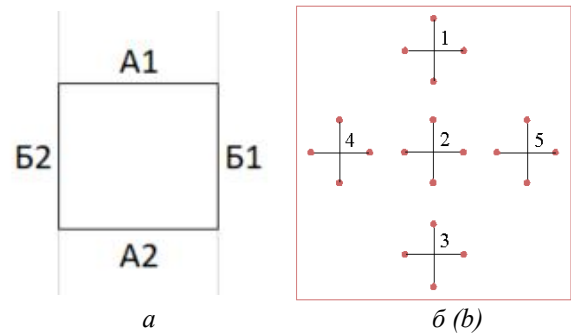


Рис. 4. Схема розміщення зон вимірів визначення швидкості ультразвуку: а) маркування граней зразка (A1, A2 – фронтальні; B1, B2 – бічні); б) розташування зон вимірювання на поверхні грані / Fig. 4. Scheme of placement of measurement zones for determining the speed of the ultrasound: а) marking the faces of the sample (A1, A2 - front; B1, B2 – lateral); б) the location of the measuring zones on the surface of the face

На рисунках 5 та 6 для зразка № 1 наведено результати визначення швидкості УЗК в зонах 2 на поверхнях А1 та А2 зразка № 1 за різної орієнтації приладів контролю (рис. 5 відповідно) та на різних поверхнях (рис. 6 відповідно). На рисунках 7 та 8 для зразка № 2 наведено результати визначення швидкості УЗК на поверхні А1 в зонах 1 та 3 (рис. 7 відповідно) та на поверхнях А1 та А2 в зоні 2 (рис. 8 відповідно).

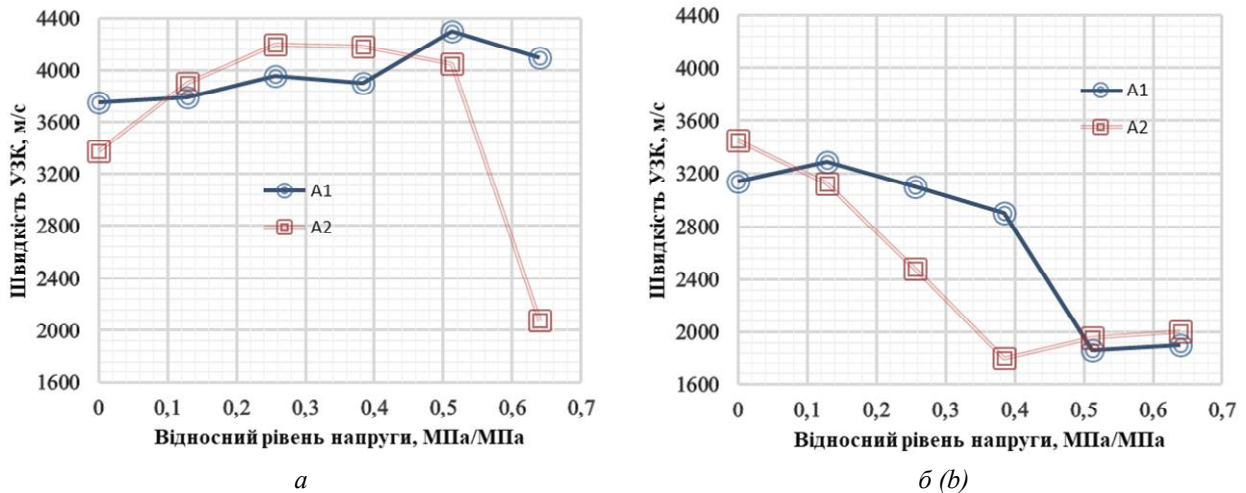


Рис. 6. Залежність «швидкість УЗК - рівень напруги в частках від руйнівної» на поверхнях A1 та A2 зразка № 1. Прилад вимірювання розташовано: а – у вертикальній площині; б – у горизонтальній площині / Fig. 6. The dependence of "ultrasound speed – the level of voltage in fractions from destructive" on surfaces A1 and A2 of sample no. 1. The measuring device is located: a – in a vertical plane; b – in the horizontal plane

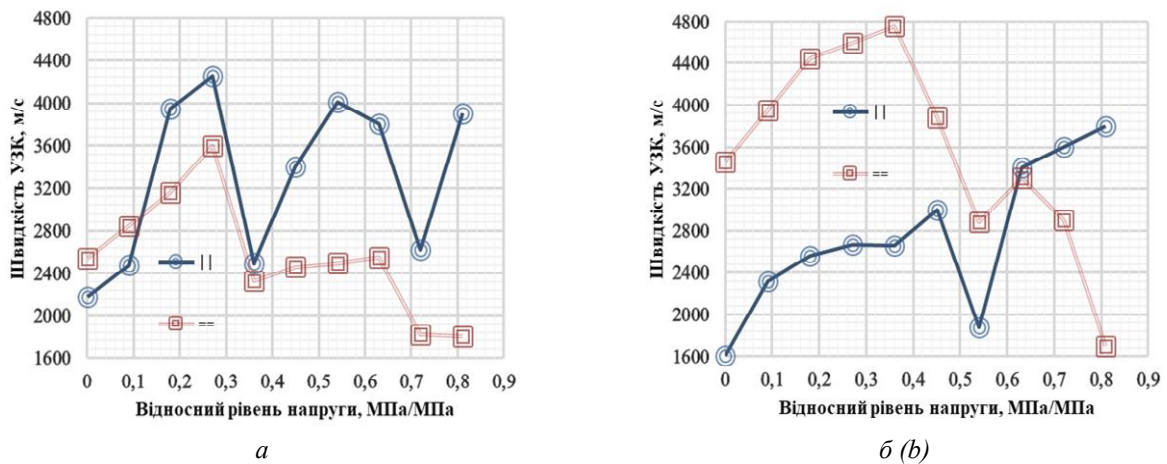


Рис. 7. Залежність «швидкість УЗК – рівень напруги в частках від руйнівної» на поверхні A1 зразка №2 в зоні: а – 1; б – 3. Прилад вимірювання розташовано: у вертикальній площині – ||; у горизонтальній площині – == / Fig. 7. The dependence of "ultrasound speed - the voltage level in fractions from destructive" on surfaces A1 of sample no. 2 in the zone: a – 1; b – 3. The measuring device is located: in the vertical plane – ||; in the horizontal plane – ==.

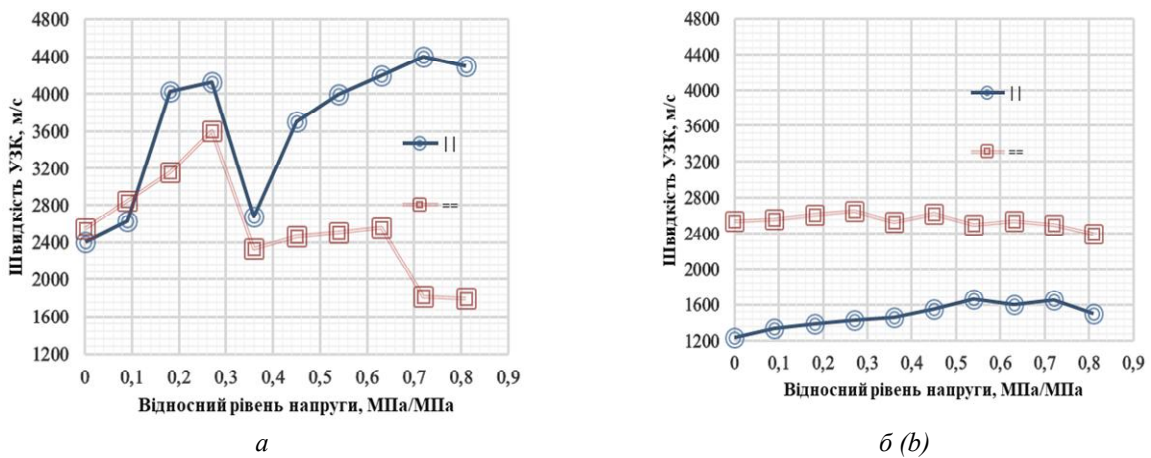


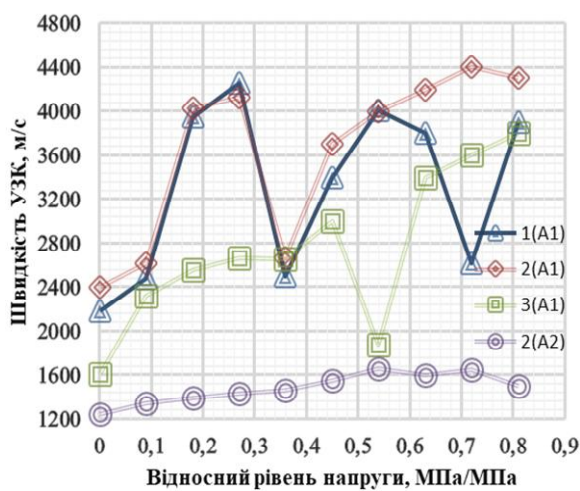
Рис. 8. Залежність «швидкість УЗК – рівень напруги в частках від руйнівної» в зоні 2 зразка № 2: а – на поверхні A1; б – A2. Прилад вимірювання розташовано: у вертикальній площині – ||; у горизонтальній площині – == / Fig. 8. Dependence of "ultrasound velocity – the level of voltage in fractions from destructive" in zone 2 of sample no. 2: a – on the surface of A1; b – A2. The measuring device is located: in the vertical plane – ||; in the horizontal plane – ==

На рисунку 9 показано характер змін швидкості УЗК для зон 1, 2 та 3 залежно від напрямку розташування приладу для зразка № 2.

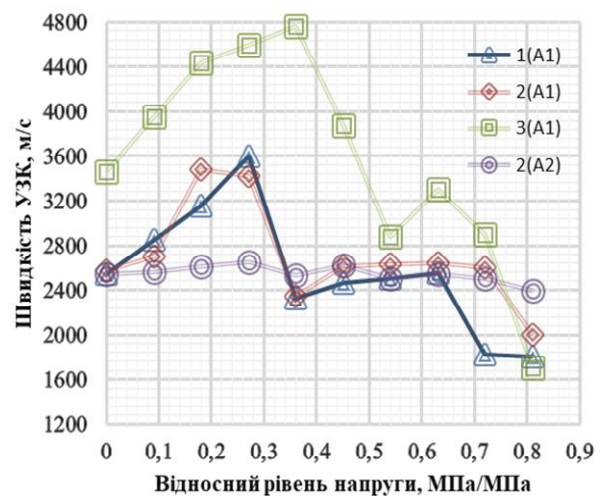
У напрямку, що збігається з напрямком дії стисного зусилля, швидкість УЗК вища, а у перпендикулярному – нижча. В той же час продемонстровано характерні відхилення від загальноприйнятих постулатів. Більшість відхилень проявилися на початку випробувань (низький рівень НДС) та в зонах зразка, що мають значний рівень неоднорідності (наявність особливостей структури зразка). Різка зміна

швидкості УЗК в межах інтервалу 0,3...0,5 відносного рівня напруги свідчить про поєднання мікротріщин у магістральні, що змінює характер роботи бетонного зразка під навантаженням.

Відмінності у залежності між відносним рівнем напруги та швидкістю УЗК на різних гранях зразка свідчать про наявність ексцентриситету прикладання навантаження на зразок. Різниця у швидкості УЗК в різних по висоті зонах зразка зумовлена відмінностями НДС у зонах, що наближені до стискових поверхонь преса.



а



б (b)

Рис. 9. Залежність «швидкість УЗК – рівень напруги в частках від руйнівної» на поверхні А1 (зони 1, 2 та 3) та А2 (зона 1) зразка № 2: а – прилад вимірювання розташовано у вертикальній площині; б – прилад вимірювання розташовано у горизонтальній площині / Fig. 9. The dependence of the "ultrasound speed – the level of voltage in the fractions from the destructive" on the surface A1 (zones 1, 2 and 3) and A2 (zone 1) of sample no. 2: a – the measuring device is located: in a vertical plane; b – the measuring device is located in a horizontal plane

На рисунку 10 наведено результати вимірювань швидкості УЗК на поверхнях Б1, Б2, А1 та А2 зразка № 3 (керамзитобетон). Залежності «швидкість УЗК – рівень напруги в частках від руйнівної», встановлені під час вимірювань для керамзитобетону, продемонстрували деякі особливості. На відміну від важкого, керамзитобетон демонструє інший характер (більш «спокійний») залежності швидкості УЗК від рівня НДС. До того ж, у керамзитобетоні лише в окремій області поверхні та за деяких значень рівня НДС простежується відмінність швидкостей УЗК в різних напрямках вимірювань.

Однією з особливостей наведених випробувань були труднощі вимірювання швидкості на внутрішній поверхні зразка (А2), оскільки оздоблювальні шари мали різні деформативні властивості з матеріалом зразка, що спричинило відшарування оздоблення.

Такі відмінності залежностей «швидкість УЗК – рівень напруги в частках від руйнівної» для важкого та керамзитобетону скоріш за все можна пояснити впливом різниці між модулем пружності матриці та наповнювача. При стисканні у важкому бетоні заповнювач проковує процес мікротріщиноутворення у

цементному камені, а в керамзитобетоні навпаки спочатку руйнується заповнювач.

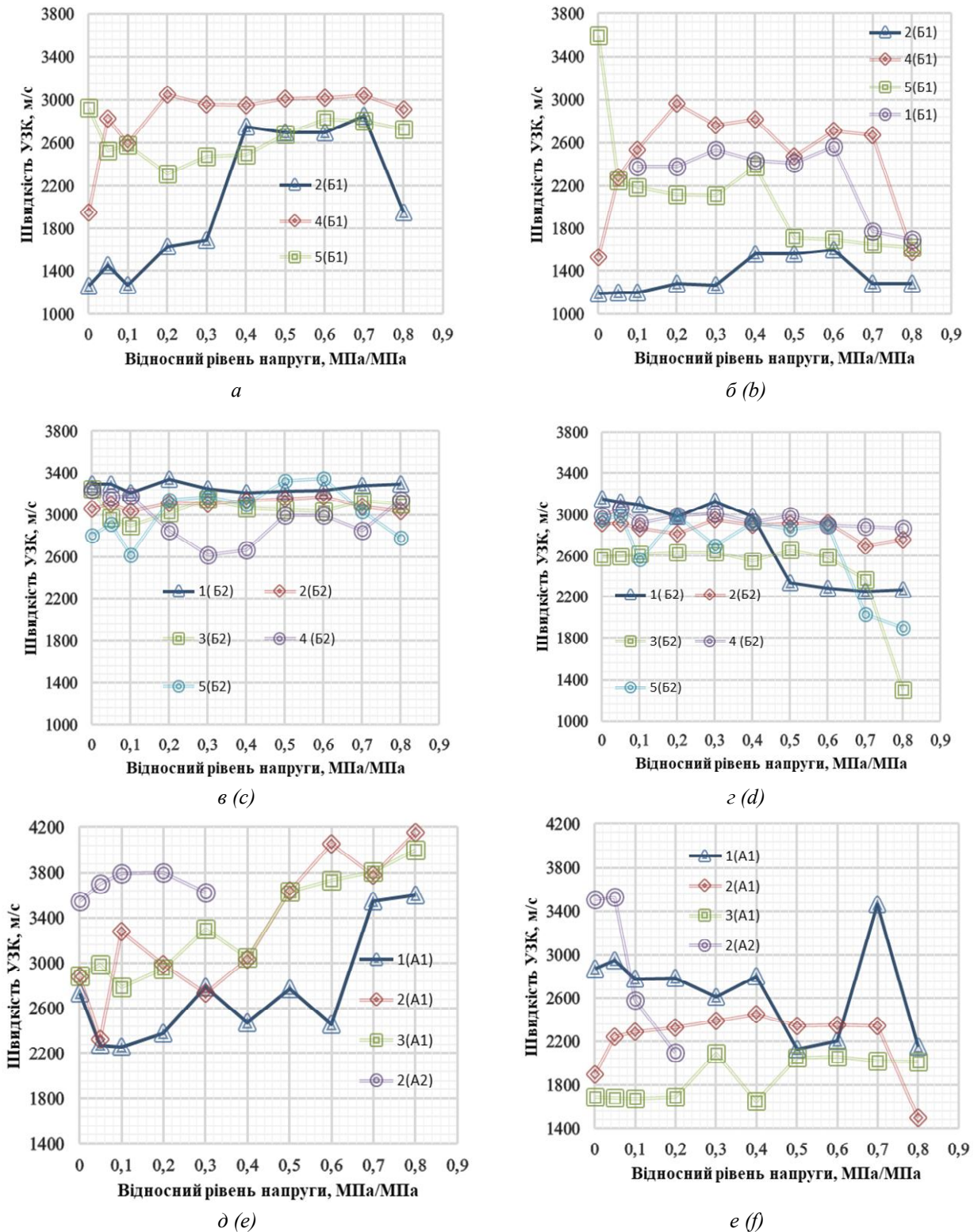


Рис.10. Залежність «швидкість УЗК – рівень напруги в долях від руйнівної» зразка № 3 на поверхні: а, б – Б1 (зони 1, 2, 4 та 5); в, г – Б2 (зони 1, 2, 3, 4 та 5); д, е – А1 (зони 1, 2 та 3) та поверхні А2 (зона 2). Прилад вимірювання розташований: а, в, д – у вертикальній площині; б, г, е – у горизонтальній площині / Fig. 10. The dependence of the "ultrasound speed – the level of voltage in the fractions from the destructive" for the sample no. 3 on the surface: а, б – B1 (zones 1, 2, 4 and 5); в, г – B2 (zones 1, 2, 3, 4 and 5); д, е – A1 (zones 1, 2 and 3) and A2 (zone 2). The measuring device is located: а, в, д – in a vertical plane; б, г, е – in a horizontal plane

Для керамзитобетону проявлено більш широкий інтервал зміни швидкості по поверхні зразка, тобто застосування тарувальних залежностей, що були побудовані на зразках буде мати меншу достовірність ніж такі самі залежності для важкого бетону.

Висновки. При проведенні вимірювань підтверджено вплив рівня НДС у конструкції та напрямку в якому

розташовано прилад вимірювання на результати визначення швидкості УЗК.

Для підвищення точності визначення ФМХ необхідно врахування вказаних впливів під час удосконалення методики проведення вимірів [12; 13].

Порівняння швидкостей УЗК на різних гранях конструкції може бути використано як додатковий чинник при діагностуванні її технічного стану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Warnemuende K. Actively modulated acoustic nondestructive evaluation of concrete / Kraig Warnemuende, Hwai-Chung Wu // *Cement and Concrete Research*. – 2004. – Vol. 34. – Pp. 563–570.
8. Виноградский В. М. Характер изменения свойств бетонов при одностороннем замораживании изделий / Виноградский В. М., Ткаченко Г. Г., Непомнящий А. Н., Портасова А. Д. // *Експлуатація та реконструкція будівель і споруд: тези доп. II Міжнар. конф. / Одеська державна академія будівництва та архітектури*. – Одеса : ОДАБА, 2017. – С. 21–24.
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 НТЦ «Промышленное оборудование и технологии». – Новомосковск. – 2012. – 26 с. – Режим доступа : https://novotest.ua/media/novotest/novotest_catalogue_rus.pdf
11. Novotest. Руководство по эксплуатации. Измеритель прочности Novotest ИПСМ / ООО НТЦ «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
12. Колохов В. В. Формализация процедуры определения физико-механических свойств бетона и её аппаратное обеспечение / В. В. Колохов // *Строительство, материаловедение, машиностроение*. – Вып. 69 – Днепропетровск : ПГАСА, 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. 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.
2. 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.

3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Warnemuende K. and Wu Hwai-Chung. Actively modulated acoustic nondestructive evaluation of concrete. Cement and Concrete Research, 2004, vol. 34, pp. 563–570.
8. Vynogradskiy V.M., Tkachenko H.H., Nepomniashchiy A.N. and Portasova A.D. *Harakter izmeneniya svoystv betonov pri odnostoronem zamorazhivaniy izdelij* [The nature of changes in the properties of concrete with one-sided freezing products]. *Ekspluatatsiya ta rekonstrukciya budivel' i sporud: tezi dop. II Mizhnar. konf.* [Exploitation and reconstruction of buildings and structures. Abstracts of the 2nd International Conference]. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa: ODABA, 2017, pp. 21–24. (in Russian).
9. *Betoni. Ul'trazvukoviy metod viznachenniya mitsnosti : DSTU B V.2.7-226:2009* [Concrets. 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 `ekspluatatsii. 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. *Formalizatsiya procedury opredeleniya fiziko-mehaniicheskikh 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, Dnepropetrovsk, PSACEA, 2013, pp. 231–236. (in Russian).
13. Kolokhov V.V. *Nekotorye aspekty primeneniya metodov nerazrushayuscheho 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 24.01.2019 р.