

УДК 692.23

**УДОСКОНАЛЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ
ДОСЛІДЖЕННЯ БЕТОНУ В ПОШКОДЖЕНИХ ВОЄННИМИ ДІЯМИ
БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТАХ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХНЬОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ
ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ**

Кандидати техн. наук Я. О. Сєріков, К. В. Данова, В. В. Малишева,
д-р техн. наук В. Г. Брусенцов, канд. техн. наук В. А. Герасименко,
магістрант О. В. Сіренко

**IMPROVEMENT OF THE ULTRASOUND PULSE METHOD IN THE RESEARCH OF
CONCRETE IN CONSTRUCTION FACILITIES DAMAGED BY MILITARY ACTIONS
TO ENSURE THEIR OPERATIONAL TECHNOLOGICAL SAFETY**

PhD (Tech.) Ya. Serikov, PhD (Tech.) K. Danova, PhD (Tech.) V. Malysheva,
Dr. Sc. (Tech.) V. G. Brusentsov, PhD (Tech.) V. Gerasimenko, Master's Student O. Sirenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.214.2025.351823>



***Анотація.** Розроблено класифікацію і аналіз методів, потенційно придатних для дослідження бетону в пошкоджених будівельних об'єктах. Визначено, що ультразвуковий імпульсний метод забезпечує потрібну точність вимірювань. Удосконалено цей метод для підвищення надійності результатів із дослідженням у виробничих умовах. Розроблено прилади для реалізації досліджень у виробничих умовах. Наведено приклад обстеження пошкодженої залізобетонної конструкції.*

***Ключові слова:** пошкоджені будівельні об'єкти, бетон, дослідження, ультразвуковий імпульсний метод, вплив вібрації.*

***Abstract.** During the war, more than 160,000 buildings were damaged as a result of military operations in Ukraine, including 125 railway stations. This determines the importance of the task of restoring damaged construction sites. The primary important stage of restoration work is the inspection of such sites. At the same time, the necessary volume of work is established, as well as capital costs for its restoration. In most such sites, reinforced concrete structures are important components, the reliability of the structure as a whole depends on the condition of the concrete. Therefore, the quality of restoration, economic costs for restoration also depend on the accuracy and reliability of the results of the concrete inspection. In Ukraine, a methodological basis has been developed for the System for Ensuring the Reliability and Safety of Construction Sites. According to the provisions of the System, suitability, in our case, for restoration work is established through compliance with the technical condition of the structures. The conditions of compliance are also determined by regulatory documents. For the examination and study of the characteristics of concrete in structures, the ultrasonic pulse method is determined, along with others. The main advantages of this method are: the possibility of studying the characteristics of concrete in almost any part of the structure, the necessary accuracy and reliability of the measurement results. The main disadvantage of devices that implement this method is the impossibility of conducting measurements in the case of operating construction machines, during the operation of which elastic vibrations are excited in the concrete under study. This is due to the fact that by their physical nature such extraneous vibrations are similar to ultrasonic ones. As a result of superimposing extraneous vibrations on ultrasonic ones, both the reliability and accuracy of the measurement results may decrease. Based on the need to*

adhere to the schedule of restoration work carried out under the current state of war, it is undesirable to stop them for the duration of the study of concrete. Existing ultrasonic measuring devices produced both in Ukraine and in foreign countries do not have protection against extraneous elastic vibrations. In order to ensure the conduct of concrete research using the ultrasonic method in conditions of operating construction equipment, an improved device has been developed that is free from such a drawback.

Keywords: *damaged construction sites, concrete, research, ultrasonic pulse method, vibration impact.*

Вступ. Для відновлення пошкоджених воєнними діями будівельних об'єктів важливим етапом є їх обстеження [1], за якого визначають надійність їхньої подальшої експлуатації, потрібні обсяги робіт, а отже, формують необхідні капітальні вкладення. У будівельних об'єктах бетонні, залізобетонні вироби, конструкції є їхніми важливими складовими, фізико-механічні, структурні характеристики бетону яких також підлягають визначенню на цьому етапі. Очевидно, що від точності, достовірності результатів обстеження бетону безпосередньо залежать якість відновлення, що впливає на надійність подальшої експлуатації, та економічні затрати на відновлення.

Особливо актуальним є таке завдання зараз в Україні, коли наявна надзвичайна ситуація воєнного характеру. Так, в Україні внаслідок воєнних дій пошкоджено більш ніж 213 000 об'єктів, із них близько 160 000 будівель і споруд [2]. За даними Київської школи економіки, станом на січень 2024 р. було пошкоджено також більше 125 залізничних вокзалів і станцій [3]. За оцінками Світового банку, на відбудову потрібно близько 486 млрд дол., зокрема на відновлення будівель і споруд більше 16 млрд грн.

В Україні створена методологічна основа для Системи забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів (ДБН В.1.2-14:2018) [3]. Положеннями ДБН В.1.2-14:2018 встановлена класифікація будівельних об'єктів за класами наслідків у разі аварійної ситуації та категорії відповідальності конструкційних

елементів за рівнем можливих матеріальних збитків і соціальних втрат. У ДБН В.1.2-14:2018 визначені також орієнтовні терміни експлуатації будівель та інженерних споруд. При цьому продовження терміну експлуатації (життєвого циклу) понад встановлений допускають лише після проведення обстеження і оцінювання технічного стану конструкційних елементів, об'єкта в цілому (ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016) [4]. Відповідно до положень ДБН В.1.2-14:2018, для гарантування надійної й безпечної експлуатації будівельного об'єкта рівень придатності технічного стану його конструкційних елементів і об'єкта в цілому визначають через ступінь відповідності їхніх характеристик нормативним вимогам. Обстежуючи об'єкт, встановлюють фактичні значення фізико-механічних характеристик відповідальних конструктивних елементів, виявляють і встановлюють розміри, параметри дефектів і пошкоджень, які знижують їхню несучу здатність, довговічність тощо. Співставляючи визначені фактичні експлуатаційні характеристики із проектними і нормативними вимогами і враховуючи граничні стани конструкційних елементів, що викладені в ДБН В.1.2-14:2018, встановлюють ступінь придатності експлуатації конструкційних елементів і об'єкта в цілому за допомогою показника «категорія технічного стану». Технічний стан будівельної конструкції, об'єкта, за ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016, характеризують однією з чотирьох категорій: «1» – нормальний; «2» – задовільний; «3» – непридатний до нормальної експлуатації; «4» – аварійний. Виходячи з цього, точність,

достовірність результатів визначення фізико-механічних характеристик, порушень структури матеріалів, їхніх геометричних параметрів тощо безпосередньо буде впливати на кінцеві результати обстеження будівельного об'єкта, тобто фактично буде обумовлювати його ступінь надійності, безпеки експлуатації після відновлення.

Для дослідження стану бетону в розглянутих та експлуатованих будівельних об'єктах офіційно визначений для застосування національним стандартом України неруйнівний ультразвуковий імпульсний метод [5]. До переваг цього методу належать забезпечення необхідних точності й надійності результатів вимірювань, простота вимірювального процесу, оперативність одержання результату, можливість дослідження бетону практично на будь-яких ділянках [6]. На додачу до цього, на основі ультразвукового методу можливе не тільки визначення фізико-механічних характеристик бетону, а і виявлення зон із мікротріщинами (як поверхневими, так і внутрішніми), площин розшарування бетону конструкції [6], що також є завданням обстеження пошкоджених будівельних об'єктів.

При цьому, як показують відповідні публікації, спостерігають активний розвиток цього напрямку не тільки в Україні, а і за кордоном.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ультразвуковий імпульсний метод застосовували з метою періодичного контролю властивостей бетону в експлуатованій багатоповерховій будівлі [7]. Для проведення досліджень використовували ультразвуковий прилад Novotest ППСМ. За допомогою цього приладу вимірювали час поширення ультразвукових коливань із наступним вимірюванням відстані між приймальним і випромінювальним перетворювачами та обчисленням швидкості поширення ультразвукових коливань у бетоні будівлі. Із постановки експерименту випливає, що з

вимірюваннями на такому об'єкті не проводили будівельні роботи, за яких у бетоні генеровані пружні хвилі від працюючої будівельної техніки. Такі хвилі можуть накладатися на ультразвукові інформаційні пружні коливання, що використовують для досліджень, і тим самим викликати появу хибних результатів вимірювання [8]. Тобто за умови використання приладу Novotest ППСМ, у якому не передбачена система захисту від сторонніх пружних хвиль, не забезпечена потрібна надійність і точність результатів обстеження бетону у виробничих умовах.

Розглянутий метод застосовували також для визначення якості бетону балок, циліндрів, анкерних балок і плит перекриття офісної експлуатованої будівлі [9]. Із випробуваннями використовували методи наскрізного й поверхового введення ультразвукових коливань. Для визначення стану бетону застосовували класифікацію «імпульсна швидкість ультразвукових коливань – критерій якості бетону». Дослідження виконували за допомогою ультразвукового приладу PUNDIT. Як зазначено в статті, визначали якість бетону в конструкціях експлуатованої будівлі, тобто не за умов проведення будівельних робіт. Недоліком приладу PUNDIT є відсутність системи захисту від впливу сторонніх пружних хвиль, що викликані вібрацією від роботи більшості типів будівельних машин і механізмів. Це призводить до низької надійності й точності результатів вимірювання у виробничих умовах, тобто за умови одночасного проведення будівельних робіт на досліджуваному об'єкті.

Опубліковано також результати експериментальних досліджень використання ультразвукового імпульсного методу для організації безперервного моніторингу стану бетону в конструкціях експлуатованих будівельних об'єктів [10]. Як фактори, що впливають на точність результатів вимірювань, вибрані експлуатаційні фактори, тобто час

експлуатації. У статті зазначено, що досліджували характеристики бетону в експлуатованих об'єктах. Із цього випливає, що на таких об'єктах відсутнє проведення будівельних робіт, за яких генеровані сторонні пружні хвилі в досліджуваному бетоні.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою досліджень є виключення необхідності призупинення відновлювальних робіт під час дослідження стану бетону обстежуваного будівельного об'єкта ультразвуковим імпульсним методом. Завданням дослідження є вдосконалення вимірювального приладу, що реалізує ультразвуковий імпульсний метод, з метою забезпечення надійності вимірювань у виробничих умовах, тобто за наявності працюючих будівельних машин, обладнання чи механізмів.

Основна частина дослідження. Досліджували фізико-механічні характеристики, виявляли місця бетону конструкцій пошкодженого будівельного об'єкта з тріщинами в багатьох випадках в умовах проведення безпосередньо на ньому будівельних робіт. Це обумовлено необхідністю додержання графіка процесу відновлення будівельного об'єкта, а також досить частими повітряними нальотами. Для цього може бути задіяне технологічне обладнання, робота якого супроводжена вібрацією: бетонозмішувачі, відбійні молотки, трамбувальне вібраційне обладнання тощо. Унаслідок функціонування такого обладнання в бетоні конструкцій будівельного об'єкта генеровані та поширювані пружні хвилі. За своїми фізичними властивостями такі хвилі є аналогічними до тих, що збуджуються в бетоні ультразвуковими випромінювальними перетворювачами із проведенням досліджень. У результаті цього такі сторонні пружні хвилі вимірювальні прилади сприймають як інформаційний сигнал. При цьому прилад може зафіксувати хибний результат вимірювання. Це призводить до зниження точності й

достовірності результатів обстеження бетону.

В ультразвукових приладах промислового виробництва, що випускають як у нашій, так і зарубіжних країнах, цей недолік не усунений [8]. Тобто з використанням таких приладів важливою умовою одержання достовірних даних вимірювання є відсутність працюючого будівельного обладнання.

Для забезпечення потрібних точності й достовірності результатів вимірювання за умови працюючого будівельного технологічного обладнання авторами розроблений ультразвуковий вимірювач швидкості ультразвукових коливань, у якому цей недолік відсутній (рис. 1).

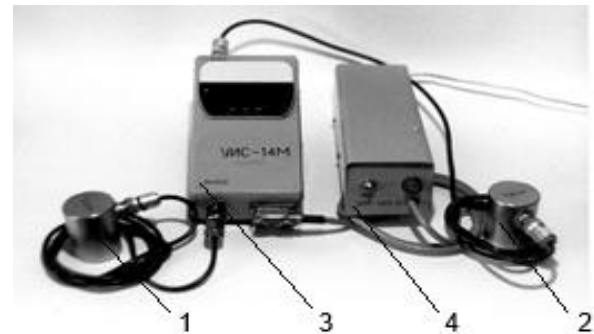


Рис. 1. Портативний ультразвуковий вимірювач швидкості ультразвукових коливань:

- 1 – випромінювальний перетворювач;
- 2 – приймальний перетворювач;
- 3 – вимірювальний прилад; 4 – блок живлення

Удосконалили прилад за рахунок застосування принципу фільтрування сторонніх пружних хвиль [11]. У результаті цього, досліджуючи бетон у конструкціях, прилад фіксує тільки параметри ультразвукових пружних хвиль (інформаційного сигналу), що надходять від випромінювального до приймального перетворювача.

Із застосуванням приладу досліджують стан бетону в конструкціях

пошкоджених будівельних об'єктів у більшості випадків поверховим введенням пружних хвиль [6]. При цьому є ефективним вимірювання часу поширення пружних хвиль у бетоні на постійній (зафіксованій) відстані між п'єзоелектричними перетворювачами [6]. Це дає змогу спростити процес дослідження бетону за рахунок виключення операції з обчислення

швидкості поширення ультразвукових коливань.

За результатами вимірювань визначають ділянки бетону, на яких зафіксовані підвищені значення вимірюваної величини (рис. 2). Це свідчить про наявність на таких ділянках порушень структури бетону – внутрішніх і (чи) поверхових мікротріщин.

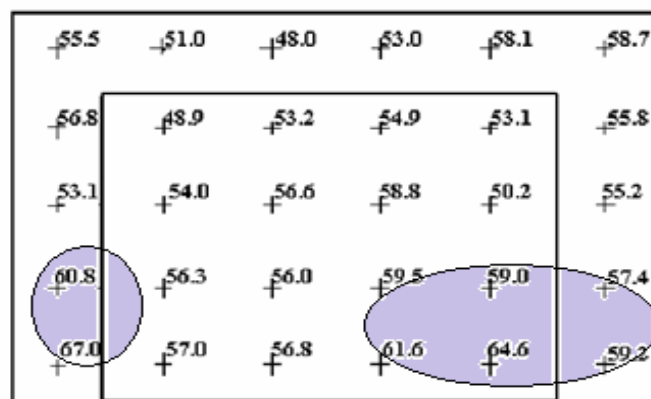


Рис. 2. Результати дослідження стану бетону залізобетонної панелі:

— зони панелі з порушенням структури бетону через наявність внутрішніх і поверхових мікротріщин

Висновки. Проведені дослідження ультразвукових імпульсних методів виявили, що для вирішення завдання обстеження бетону в конструкціях пошкоджених воєнними діями будівельних об'єктів найбільш ефективним є ультразвуковий імпульсний метод. Ураховуючи виробничі умови обстежень, розроблено удосконалений прилад, який дає змогу здійснювати вимірювання з використанням виробничого будівельного обладнання, робота якого супроводжена

вібрацією (генеруванням пружних хвиль у досліджуваному бетоні), тобто без зупинки процесу відновлення.

У результаті досліджень вдосконалено метод і вимірювальний прилад, застосування яких допомагає забезпечити необхідну достовірність і точність результатів обстеження, а отже, і підвищення техногенної безпеки будівельних об'єктів у процесі експлуатації після відновлення.

Список використаних джерел

1. LIGA.net. URL: <https://www.liga.net/ua/infographic-of-the-day/articles/ruinuvannia-v-tsyfrakh-skilky-rosiia-znyshchyla-obiektiv-ta-skilky-vydilyly-na-vidbudovu>.
2. Новини. Залізниця України під час війни. URL: <https://vsviti.com.ua/news/163497>.

3. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд (зі змінами). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78683.
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65024.
5. ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності бетону. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://concrete-group.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-%D0%91-%D0%92.2.7-226_2009-%D1%83%D0%B7-%D0%B2%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%BC%D1%96%D1%86%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96.pdf.
6. Дослідження будівельних матеріалів, конструкційних елементів будинків і споруд та механічних систем неруйнівними методами на основі пружних хвиль: монографія / Я. О. Серіков, М. С. Золотов та ін. Харків : ІОЦ ХНАМГ, 2009. 260 с.
7. Колохов В. В., Білик В. В., Ткач Т. В. Періодичний контроль властивостей бетону в системі оцінки технічного стану багатоповерхової будівлі. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. № 1(019). С. 82-88. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.82.1027>.
8. Серіков Я. О. Проблеми розвитку і впровадження ультразвукового імпульсного методу в завданні вимірювання параметрів і контролю фізико-механічних характеристик бетону експлуатованих будинків і споруд. *Наук-вироб. журнал «Метрологія та прилади»*. Харків: ХНУРЕ, 2019. № 5. С. 56-61. URL: https://nure.ua/wp-content/uploads/2019/Scinetific_editions/mp-5-2019.pdf.
9. Zel Citra1, Paksi Dwiyanto Wibowo, Yosie Malinda, Anom Wibisono, Risma Apdeni, Herol «Testing of Concrete Structures with Non-Destructive Test Method (NDT) Using Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) at the Building on the Ancol Beach». *Journal of Civil Engineering and Vocational Education*. March 2024. Vol. 11, No.1. P. 217-225. DOI:10.24036/cived.v11i1.530.
10. Lorenzi Alexandre, Stein Kássio, Reginatto Lucas Alexandre. Concrete structures monitoring using ultrasonic tests. *Revista de la construcción*. 2020. Vol. 19, No. 3. P. 246–257. Santiago dic. <https://doi.org/10.7764/rdlc.19.3.246-257>.
11. Пристрій для контролю якості матеріалів: пат. 70786, Україна, G01N33/38. № 20031212763; заявл. 29.12.2003; опубл. 15.10.2004, Бюл. №10. 3 с.

Серіков Яків Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. ORCID iD: 0000-0002-3463-2079. Тел.: 0509088828. E-mail: s0509088828@gmail.com.

Данова Карина Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. ORCID iD: 0000-0002-1994-703X. Тел.: 0995288266. E-mail: bgd204@yahoo.com.

Брусенцов Віталій Гаврилович, доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-7003-9889. Тел.: 0662955229. E-mail: brusencov.vitaly@gmail.com.

Малишева Вікторія Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5849-8206>. Тел.: 0976199662. E-mail: vikkttoriyam@yahoo.com.

Герасименко Віталій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри світлотехніки та джерел світла, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. ORCID iD: 0000-0002-0390-289X. Тел.: 0993883028. E-mail: Twixvi@gmail.com.

Сіренко Олена Володимирівна, магістрант, група МОПР2024-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел.: 06788838101. E-mail: sirenkoolena86@gmail.com.

Serikov Yakiv Oleksandrovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Labor Protection and Life Safety, Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov.

ORCID iD: 0000-0002-3463-2079. Tel.: +38(050)-908-88-28. E-mail: s0509088828@gmail.com.

Danova Karina Valeriivna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Occupational Health and Safety, Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov.

ORCID iD: 0000-0002-1994-703X. Tel.: +38(099)528-82-66. E-mail: bgd204@yahoo.com.

Malysheva Victoria Valeriyevna, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Occupational Health and Safety, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5849-8206>. Tel.: +38(097)-619-96-62. E-mail: vikktoriyam@yahoo.com.

Brusentsov Vitaly Havrylovich Dock. technical of Science, Assoc. Department of Labor and Environmental Protection, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0662955229. E-mail: brusencov.vitaly@gmail.com.

Herasymenko Vitalii Anatoliiovych, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Lighting Engineering and Light Sources, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.

ORCID iD: 0000-0002-0390-289X. Tel.: +38(099)-388-30-28.

Sirenko Olena Volodymyrivna, master's student, group MOPR2024-1, Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov. Tel.: 06788838101. E-mail: sirenkoolena86@gmail.com.

Статтю прийнято 01.12.2025 р.