

# Підвищення достовірності результатів вимірювання при дослідженні надійності будівельних конструкцій ультразвуковим імпульсним методом у виробничих умовах

Я.О. Серіков, Л.А. Назаренко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харків, Україна  
s0509088828@gmail.com

## Анотація

Подовження життєвого терміну експлуатованих будівельних об'єктів потребує дослідження наявного стану матеріалів у їхніх конструкційних елементах. Постановка завдання визначає, що такі дослідження необхідно проводити з використанням неруйнівних методів, серед яких ультразвуковий імпульсний метод є одним із найбільш ефективних. Його ефективність полягає в оперативності одержання даних вимірювання, їх достатньої точності, порівняльної нескладності вимірювального процесу. Як правило, вимірювання необхідних параметрів ультразвукового сигналу проводять за наявності вібраційних перешкод, що генеруються виробничим обладнанням, автотранспортом. За фізичною сутністю такі перешкоди являють собою пружні хвилі, що поширюються і в матеріалі досліджуваної конструкції будівельного об'єкта. У результаті відбувається накладання вібраційних перешкод на інформаційний ультразвуковий сигнал. Це призводить до одержання хибних результатів вимірювання, що може викликати похибку оцінки наявного стану фізико-механічних властивостей досліджуваного матеріалу. В ультразвукових вимірювальних приладах, що випускаються промисловістю в Україні та за кордоном, не передбачено функції захисту від вібраційних перешкод. Для вирішення поставленого завдання розроблені технічні рішення, що засновані: на використанні еталонних значень контрольованого параметру ультразвукового сигналу; на підсиленні інформаційного сигналу безпосередньо в місці його фіксування; на аналізі масиву інформаційних сигналів із застосуванням спеціальних програмних продуктів їх статистичної обробки. Застосування таких технічних рішень не дає змогу повністю вирішити поставлене завдання. Із цією метою розроблено рішення, в ідеології якого покладено випромінювання зондувального та приймання інформаційного сигналів на двох фіксованих частотах.

**Ключові слова:** будівельні конструкції; матеріали; надійність; ультразвуковий імпульсний метод; перешкоди.

Отримано: 14.02.2022

Відредаговано: 16.06.2022

Схвалено до друку: 22.06.2022

## Вступ

Наразі в Україні й за кордоном широко розповсюджені напрямки подовження життєвого терміну, реставрації, реконструкції експлуатованих будівель і споруд, у тому числі й при диверсифікації виробництва [1–3]. Це визначається рядом причин, із яких головними є висока затратність нового будівництва, а також, у ряді випадків, — необхідність збереження існуючого архітектурного комплексу чи споруд культурно-історичного значення. При вирішенні завдання подовження життєвого терміну експлуатованих будівельних об'єктів необхідним етапом є його обстеження — дослідження наявного стану матеріалів у конструкційних елементах. Актуальним також залишається завдання дослідження якості матеріалів (у тому числі й будівельних) у виробках на етапі їх виготовлення. Очевидно, що такі

дослідження необхідно проводити з використанням неруйнівних методів, із яких ультразвуковий імпульсний метод є одним з найбільш ефективних [4, 5]. Ефективність цього методу полягає в оперативності одержання даних вимірювання, їх достатньої точності, порівняльної нескладності вимірювального процесу, що обумовлює невисокі вимоги до персоналу, задіяного в цьому процесі [4]. Тобто такий персонал не обов'язково повинен мати спеціальну освіту. Але, оскільки цей метод засновано на використанні пружних хвиль, то організація вимірювань, дослідження стану матеріалів у розглянутих об'єктах, що проводять у виробничих умовах, спричиняє додаткові вимоги до вимірювальної апаратури. Ці вимоги обумовлені наявністю зовнішнього впливу пружних хвиль, які генеруються, наприклад, виробничим обладнанням, сторонніми джерелами вібрації

й у результаті негативно позначаються на процесі вимірювання – призводять до зниження надійності та достовірності результатів вимірювання, а отже, й кінцевих висновків із дослідження стану будівельних об'єктів.

Ультразвукові вимірювальні прилади, що випускаються промисловістю як в Україні, так і за кордоном, не дозволяють одержувати надійні результати вимірювання за наявності вібраційних і акустичних впливів, що можуть надходити, наприклад, від працюючого промислового обладнання, транспорту.

### Постановка проблеми

Основним завданням неруйнівного ультразвукового імпульсного методу при дослідженні матеріалів є виділення двох сукупностей даних із масиву одержаних результатів вимірювань: першої, що визначає якісні фізико-механічні характеристики матеріалу, наприклад, його міцність, однорідність міцнісних характеристик за площею виробу; та другої, в якій виміряні параметри дають змогу виділити ділянки матеріалу з дефектами, тобто вирішити практичне завдання ідентифікації дефектів – визначити їхні розміри й місце розташування [4].

Як відомо, ідеологією ультразвукових неруйнівних методів є дослідження параметрів пружних хвиль, що збуджуються й поширюються в досліджуваному матеріалі [4]. За фізичною сутністю такі хвилі є аналогічними тим, що можуть збуджуватись у матеріалі в результаті наведення вібраційного впливу, наприклад, від працюючого виробничого обладнання. Тобто в тому разі, якщо процес неруйнівного ультразвукового імпульсного контролю проводять у виробничих умовах, які характеризуються такою особливістю,

то на вимірюваний інформаційний сигнал можуть накладатися сторонні акустичні, вібраційні впливи, які є перешкодами, що можуть сприйматися вимірювальною апаратурою. При цьому, за визначеними умовами, до яких відносяться їхні амплітудно-частотні характеристики, такі перешкоди можуть фіксуватися вимірювальною апаратурою як інформаційний сигнал. У результаті цього виміряна величина не буде відповідати дійсному значенню, а отже буде знижуватись достовірність кінцевих результатів дослідження.

Для прикладу надамо спрощені часові діаграми вимірювального приладу стандартної функціональної схеми, призначеного для вимірювання часу поширення ультразвукової пружної хвилі в матеріалі за відсутності й за наявності перешкод аналізованого типу (рис. 1а, 1б) [6, 7].

Така ситуація погіршується тим, що в більшості випадків при проведенні досліджень інформація про значення вимірюваних параметрів, які відповідають матеріалу з якісними характеристиками чи матеріалу з дефектами, апріорно є відсутньою. Розглядане завдання з підвищення достовірності є важливим, тому що похибки в результатах вимірювань можуть мати значні негативні наслідки, особливо в тому разі, якщо, наприклад, дослідженню підлягають матеріали експлуатованих будівельних об'єктів з метою визначення допустимості подовження їхнього життєвого терміну.

Функціональні і, як наслідок, принципіві електричні схеми ультразвукових приладів, що засновані на цьому методі й випускаються промисловістю як в Україні, так і за кордоном, не дозволяють одержувати надійні результати вимірювання за наявності вібраційних впливів, що можуть надходити, наприклад, від працюю-

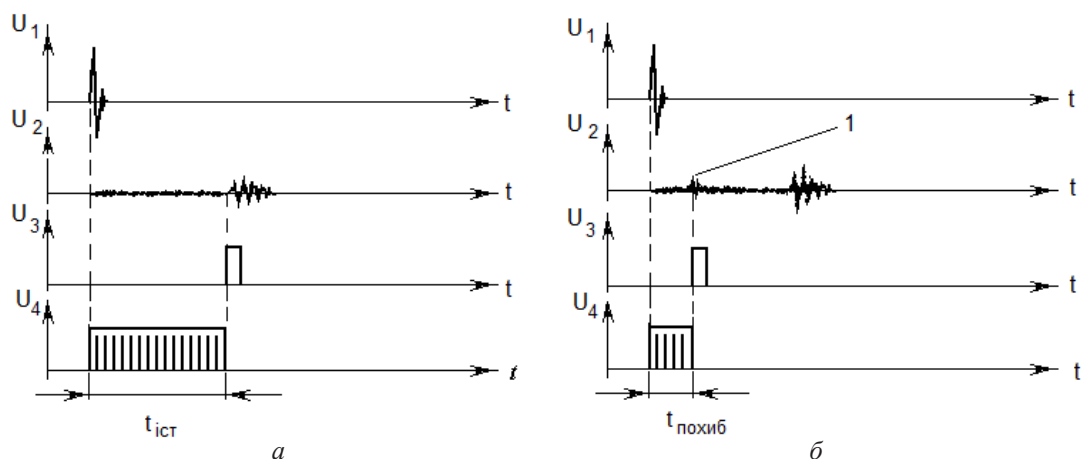


Рис. 1. Часові діаграми процесу вимірювання часу поширення ультразвукової хвилі в досліджуваному матеріалі при використанні стандартної апаратури:

а – за відсутності вібраційних перешкод; б – за наявності вібраційних перешкод; 1 – вібраційні перешкоди;  $U_1$  – імпульсний зондувальний сигнал, що вводиться в досліджуваний матеріал;  $U_2$  – форма інформаційного сигналу за відсутності перешкод (рис. 1а) та за їх наявності (рис. 1б);  $U_3$  – форма сигналу формувача імпульсів;  $U_4$  – форми сигналів блока лічильних імпульсів, що відповідає дійсному (рис. 1а) та хибному (рис. 1б) значенню часу поширення ультразвукової хвилі;  $t_{ict}$ ,  $t_{похиб}$  – виміряні відповідно дійсне та хибне значення часу поширення ультразвукової хвилі

чого промислового обладнання, технологічного чи міського транспорту (в тому разі, якщо будівельний об'єкт дослідження розташований поблизу автомагістралі, автошляхів, у зоні метрополітену) тощо. Тобто в структурі таких вимірювальних приладів функціонально не передбачена можливість захисту їх приймально-підсилювального тракту від негативного впливу перешкод такого типу.

Тому, виходячи з викладеного вище, вирішення поставленого завдання є актуальним.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним із напрямків вирішення завдання підвищення достовірності результатів дослідження є використання методу допускового контролю [4]. Сутність цього методу полягає в апріорному визначенні порогового (допустимого) значення вимірюваного параметру інформаційного сигналу, яке відповідає якісним характеристикам досліджуваного матеріалу, і його використанні в процесі вимірювань як граничної (еталонної, допустимої) величини. Але при проведенні досліджень у виробничих умовах у значній кількості випадків застосування цього методу є утрудненим. Цей факт обумовлюється наявністю вібраційних перешкод, що є практично умовно постійними, оскільки генеруються, наприклад, виробничим обладнанням. До недоліків цього методу відноситься також і його неуніверсальність у разі дослідження матеріалів, що відрізняються фізико-механічними характеристиками, тому що для кожного з них необхідне попереднє визначення допускової величини вимірюваного параметру інформаційного сигналу.

Іншим технічним рішенням, спрямованим на вирішення поставленого завдання, є посилення інформаційного сигналу безпосередньо біля місця

вимірювань [8]. Метою цього методу є збільшення відношення “сигнал – перешкода”. При реалізації цього методу первинний каскад підсилювача інформаційного сигналу розташовують у корпусі п'єзоелектричного приймального перетворювача. Завдяки цьому інформаційний сигнал, прийнятий приймальним перетворювачем, надходить безпосередньо на базу транзистора, встановленого в корпусі приймального перетворювача в безпосередній близькості біля п'єзоелемента, і підсилюється цим транзистором. У разі застосування цього технічного рішення основним недоліком є недостатня достовірність результатів вимірювання при значних амплітудах вібраційних перешкод, джерела виникнення яких описані вище.

Для виявлення, ідентифікації дефектів у матеріалах, дослідження їх якості наразі застосовують також і такі методи, що використовують спеціальні програмні продукти для статистичної обробки й аналізу масиву виміряних інформаційних сигналів [9, 10]. Але застосування такого напрямку вирішення розгляданого завдання є ефективним у разі використання автоматизованих контрольно-вимірювальних систем, що призначені для контролю фізико-механічних характеристик матеріалів у технологічному процесі виготовлення виробів або на етапі їх вихідного контролю якості. Побудова портативних приладів із таким метрологічним забезпеченням призводить до підвищення їхньої вартості, в ряді випадків потребує спеціальної підготовки операторів, тобто є неефективною.

### Виклад основного матеріалу

Метою розробки технічного рішення є підвищення достовірності даних вимірювань та їх надійності при дослідженні фізико-механічних характеристик матеріалів у виробничих умовах

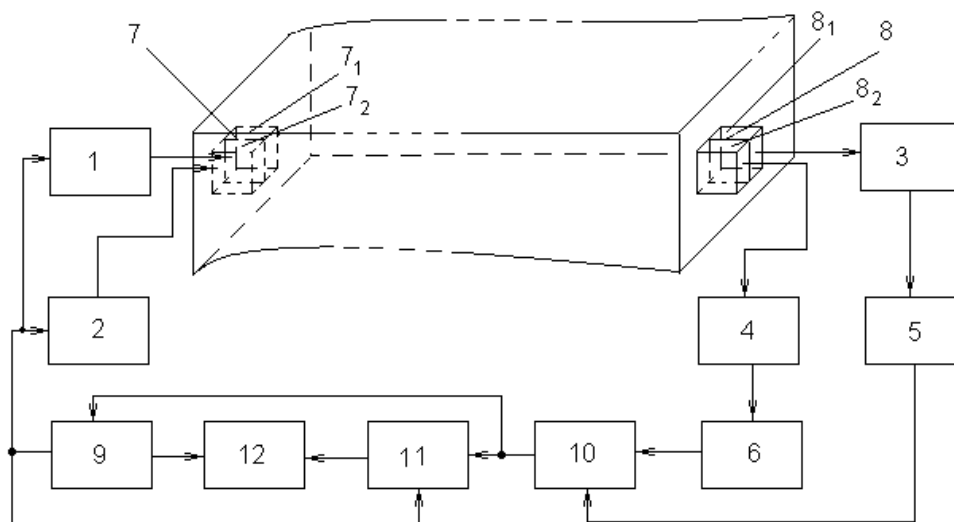


Рис. 2. Прилад для дослідження фізико-механічних властивостей будівельних матеріалів за наявності вібраційних перешкод. Спрощена схема функціональна: 1, 2 – відповідно перший та другий генератори зондувальних радіоімпульсів; 3, 4 – відповідно перший та другий смугові підсилювачі; 5, 6 – відповідно перший та другий формувачі сигналу; 7 – комбінований (7<sub>1</sub>, 7<sub>2</sub>) п'єзоелектричний випромінювальний перетворювач; 8 – комбінований (8<sub>1</sub>, 8<sub>2</sub>) п'єзоелектричний приймальний перетворювач; 9 – блок автоматики; 10 – елемент “І”; 11 – часо-імпульсний перетворювач; 12 – лічильник імпульсів із цифровою індикацією

за наявності перешкод у вигляді пружних коливань, що генеруються виробничим обладнанням із забезпеченням умови мінімізації ускладнення функціональної й принципової електричної схем вимірювального приладу та процесу вимірювання.

Суть технічного рішення полягає в тому, що випромінювання зондувальних і прийом інформаційних сигналів виконуються одночасно на двох різних фіксованих частотах, а реєстрація часу приходу інформаційного сигналу здійснюється за моментом його одночасної появи по двох частотних каналах на входах формувачів сигналу [11]. Спрощену функціональну схему розробленого вимірювального приладу наведено на рис. 2. Блок автоматики (9), елемент "І" (10), часо-імпульсний перетворювач (11), лічильник імпульсів із цифровою індикацією (12) являють собою функціональні вузли, що забезпечують необхідний алгоритм вимірювання.

У момент включення приладу блок автоматики (9) генерує сигнал, що встановлює через відповідну схему скидання в початковий стан часо-імпульсний перетворювач (11) і лічильник імпульсів із цифровою індикацією (12). Другий сигнал блоку автоматики діє на перший (1) і другий (2) генератори зондувальних радіоімпульсів і одночасно запускає часо-імпульсний перетворювач (11). При цьому на вхід лічильника імпульсів із цифровою індикацією (12) починають надходити рахункові імпульси.

Вихідні зондувальні сигнали генераторів (1), (2) збуджують відповідні елементи комбінованого п'єзоелектричного випромінювача ультразвукових зондувальних сигналів (7). Конструктивно цей випромінювач складається з двох частин – двох п'єзоелектричних кристалів, що розміщені в одному корпусі. Кристали є акустично ізолюваними. Перша частина комбінованого випромінювача перетворювача (7<sub>1</sub>) генерує ультразвукові зондувальні імпульси на частоті  $f_1$ , а друга (7<sub>2</sub>) – на частоті  $f_2$ .

У результаті цього конструкція випромінювального ультразвукового перетворювача і закладені функціональні характеристики приладу забезпечують можливість одночасного введення в досліджуваний матеріал зондувальних сигналів із частотами  $f_1$  і  $f_2$ . Сигнали, що пройшли через досліджуваний матеріал, надходять на аналогічний комбінований приймальний перетворювач (8). П'єзоелектричні кристали цього перетворювача мають такі ж резонансні частоти, що й випромінювального –  $f_1$  і  $f_2$ . З обох виходів приймального перетворювача (8<sub>1</sub> і 8<sub>2</sub>) прийняті інформаційні сигнали з частотами  $f_1$  і  $f_2$  поступають одночасно на входи першого (3) і другого (4) смугових підсилювачів. Амплітудно-частотні характеристики підсилювачів побудовані таким чином, що забезпечують підсилення сигналів тільки на частотах  $f_1$  та  $f_2$  відповідно. Вихід першого зі смугових підсилювачів (3) підключено до входу першого формувача сигналів (5), а вихід друго-

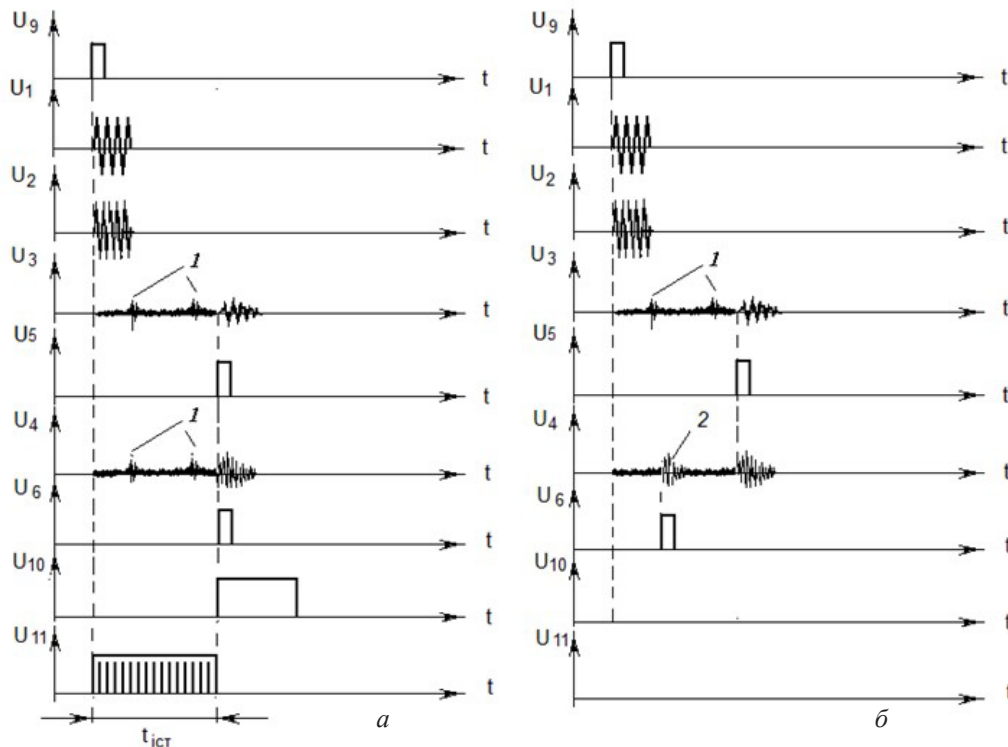


Рис. 3. Часові діаграми процесу вимірювання розробленим приладом за наявності вібраційних перешкод, частоти яких не збігаються з  $f_1$  і  $f_2$  (рис. 3а) та збігаються з  $f_2$  (рис. 3б): 1 – сигнал перешкоди з частотою  $f \neq f_1$  і  $f_2$ ; 2 – сигнал перешкоди з частотою  $f = f_2$ ;  $U_1, U_2$  – діаграми роботи першого (1) і другого (2) генераторів зондувальних радіоімпульсів;  $U_3, U_4$  – сигнали, що посилюються першим (3) та другим (4) смуговими підсилювачами;  $U_5, U_6$  – діаграми роботи першого (5) та другого (6) формувачів сигналу;  $U_{10}$  – діаграма роботи елемента "І" (10);  $U_{11}$  – діаграма роботи часо-імпульсного перетворювача

го (4) – до входу другого формувача (6). Завдяки такій схемі при одночасній появі інформаційних сигналів на виходах смугових підсилювачів (3) та (4) забезпечується формування відповідних сигналів формувачами (5), (6). Ці вихідні сигнали подаються на входи елемента “Г” (10), а з виходу цього елемента – на вхід часо-імпульсного перетворювача (11) та блока автоматики. В результаті цього підтверджується виконання процесу вимірювання, припиняється надходження рахункових імпульсів на вхід лічильника з цифровою індикацією (12) й індикація виміряної величини. Після закінчення часу індикації блок автоматики виробляє сигнал, який встановлює блоки приладу в початковий стан.

Часові діаграми процесу вимірювання розробленим приладом за наявності вібраційних перешкод за умови, що їхні частоти не збігаються з  $f_1$  і  $f_2$ , та, як приклад, – збігаються з  $f_2$ , наведені на рис. 3а, 3б відповідно.

Так, у разі збігу частоти перешкоди з однією з частот інформаційного сигналу, наприклад, із частотою  $f_2$ , на виході смугового підсилювача (4) з'явиться сигнал, який подається на вхід формувача сигналів (6). У результаті на його виході (формувача 6) буде вироблено сигнал, який подається на один із входів елемента “Г” (10) (рис. 3б). Але, оскільки при цьому на другому вході цього елемента сигнал відсутній, то на його виході не буде сформовано дозволяючий сигнал, що повинен подаватися на входи часо-імпульс-

ного перетворювача (11) та блока автоматики (9). У цьому випадку подавання напруги для свічення індикатора лічильника імпульсів із цифровою індикацією (12) не спрацює.

Тобто завдяки розробленому технічному рішенню, навіть за умови, що частота вібраційної перешкоди буде дорівнювати частоті пропускання одного зі смугових підсилювачів, виключається одержання хибного результату вимірювання.

### Висновки

Проведений системний аналіз вимірювального процесу при дослідженні фізико-механічних характеристик матеріалів (для прикладу – будівельних) у виробничих умовах дозволив виявити суттєвий рівень перешкод у вигляді пружних коливань, що формуються й поширюються в матеріалі як наведення від працюючого виробничого, технологічного обладнання. Перешкоди такого типу викликають появу хибних даних вимірювання, а отже й недостовірних результатів досліджень. Запропоновано розроблене технічне рішення, застосування якого дозволяє забезпечити високу надійність вимірювань і достовірність результатів дослідження. Апробація розробленого технічного рішення показала високий рівень захищеності від перешкод такого типу. Розроблена ідеологія побудови вимірювальних приладів може бути поширена на дослідження матеріалів у інших галузях.

## Improving the reliability of measurement results when studying the reliability of building structures with the ultrasound pulse method under production conditions

Ya. Serikov, L. Nazarenko

O.M. Beketov National University of Urban Economics in Kharkiv,  
Marshala Bazhanova st., 17, 61002, Kharkiv, Ukraine  
s0509088828@gmail.com

### Abstract

The extension of service life of operating building constructions requires a study of the current state of materials in their structural elements. The statement of the problem determines that such studies should be carried out using non-destructive methods, among which the ultrasonic pulsed method is one of the most effective ones. Its effectiveness lies in the efficiency of obtaining measurement data and their sufficient accuracy, as well as in comparative complexity of the measurement process. As a rule, the measurement of the required parameters of the ultrasonic signal is carried out in the presence of vibration interference generated by equipment, vehicles. Such obstacles are elastic waves that propagate in the material of the building object under consideration. As a result, vibration interference is imposed on the information ultrasonic signal. This leads to false measurement results, which can cause an error in estimating the current state of physical and mechanical properties of the material under consideration. Ultrasonic measuring instruments produced in Ukraine and abroad do not have protection from such vibration interference. To solve this problem, technical solutions have been recently developed

based on the use of reference values of the controlled parameter of the ultrasonic signal; amplification of the information signal directly in the place of its fixation; and on the analysis of an array of information signals with the use of special software products for their statistical processing. However, the use of such technical solutions does not allow solving the problem completely. In order to solve the problem completely, the following solution was developed. The ideology of the measurement process includes the emission of ultrasonic probing signals and the reception of information signals at two fixed frequencies.

**Keywords:** building structures; materials; reliability; ultrasonic pulse method; interference.

## Повышение надежности результатов измерения при исследовании надежности строительных конструкций ультразвуковым импульсным методом в условиях производства

Я.А. Сериков, Л.А. Назаренко

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова,  
ул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харьков, Украина  
s0509088828@gmail.com

### Аннотация

Продление жизненного срока эксплуатируемых строительных объектов требует исследования состояния материалов в конструкциях, как правило, ультразвуковым импульсным методом, который является наиболее эффективным. Как правило, измерение параметров производят при наличии вибрационных помех, генерируемых оборудованием, автотранспортом. Такие помехи распространяются и в материале строительного объекта. В результате помехи накладываются на информационный сигнал. Это вызывает ложные результаты измерения и погрешность оценки свойств исследуемого материала. В измерительных приборах, производимых в Украине и за рубежом, не предусмотрена защита от таких помех. Для решения проблемы разработано: использование эталонных значений измеряемого параметра; усиление информационного сигнала в месте его фиксации; анализ массива информационных сигналов специальными программами. Такие решения не решают задачу полностью. Описана разработанная идеология измерительного процесса, заключающаяся в излучении зондирующего и приеме информационного сигналов на двух фиксированных частотах.

**Ключевые слова:** строительные конструкции; материалы; надежность; ультразвуковой импульсный метод; помехи.

### Список літератури

1. Sudakov K.V., Chulcov V.O., Kazaryan R.R. et al. Antropotechnics: Norm in every living thing and artificial beings. V.O. Chulcov (Ed.). Moscow, SvR-ARGUS, 2013. 320 p.
2. Лосев К.Ю. Методологические аспекты жизненного цикла зданий. *Вестник Евразийской науки*. 2019. Т. 11. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-aspekty-zhiznennogo-tsikla-zdaniy/viewer>
3. Опарина Л.А. Теоретические основы процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Иваново, 2016. 40 с.
4. Шутенко Л.М., Сериков Я.О. та ін. Діагностика будівельних матеріалів, конструкційних елементів будинків і споруд та механічних систем неруйнівними методами на основі пружних хвиль: монографія. Київ: Техніка, 2009. 261 с.
5. Троицкий В.А., Бондаренко А.И., Троицкая Н.В., Шекеро А.Л. О коллективном проекте стран Европы по мониторингу состояния объектов посредством дальнедействующего ультразвука (LRUCM). *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2007. № 1. С. 17–23.
6. Сериков Я.О. Проблеми розвитку та впровадження ультразвукового імпульсного методу в завданні вимірювання параметрів для визначення фізико-механічних характеристик бетону експлуатованих будинків і споруд. *Метрологія та прилади*. 2019. № 5. С. 56–61. doi: 10.33955/2307-2180(5)2019.56-61
7. Сериков Я.О. Теоретичні основи підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем для контролю якості будівельних матеріалів у конструкціях та спорудах. *Стратегія якості в промисловості*

- и образовании: матер. XI Междунар. конф. *Международный научный журнал Acta Universitatis Pontika Euximus*. Спец. вып. Технический университет Варна, Болгария, 2015. Т. 2. С. 386–391.
- Серіков Я.О., Шутенко Л.М., Золотов М.С. Пристрій для контролю якості бетону у виробках. А.С. 70786, МПК7 G 01 N 33/38, Б.И. № 10, 2004.
  - Колганов В.И. Ультразвуковой бесконтактный метод и программно-аппаратные средства автоматизированного неразрушающего контроля качества изделий из полимерных композиционных материалов: дис. ... канд. техн. наук. Северо-западный государственный заочный технический ун-т. Санкт-Петербург, 2001. 125 с.
  - Рыков А.Н. Ультразвуковой акустический контроль с идентификацией дефектов изделий из полимерных композиционных материалов: дис. ... канд. техн. наук. АО “Центральный НИИ специального машиностроения”. Москва, 2018. 139 с.
  - Серіков Я.О. Підвищення достовірності й оперативності досліджень однорідності структури бетону в експлуатованих конструкціях та спорудах неруйнівним ультразвуковим імпульсним методом. *Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід*: матер. III Міжнар. конф. Університет UvA, Амстердам, 2019. С. 330–335.
- #### References
- Sudakov K.V., Chulcov V.O., Kazaryan R.R. et al. Antropotechnics: Norm in every living thing and artificial beings. V.O. Chulcov (Ed.). Moscow, SvR-ARGUS, 2013. 320 p.
  - Losev K.Yu. Metodologicheskiye aspekty zhiznennogo tsikla zdaniy [Methodological aspects of the service life of buildings]. *The Eurasian Scientific Journal*, 2019, vol. 11, no. 6 (in Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskiye-aspekty-zhiznennogo-tsikla-zdaniy/viewer>
  - Oparina L.A. Teoreticheskiye osnovy protsessov organizatsii zhiznennogo tsikla energoeffektivnykh zdaniy [Theoretical foundations of organizing the service life of energy efficient buildings]: author. dis. ... doctor of tech. sciences. Ivanovo, 2016. 40 p. (in Russian).
  - Shutenko L.M., Serikov Ya.O. et al. Diahnostyka budivelnnykh materialiv, konstruktivnykh elementiv budynkiv i sporud ta mekhanichnykh system neruynivnymy metodamy na osnovi pruzhnykh khvyli: monografiya [Diagnosis of building materials, structural elements of buildings and constructions and mechanical systems by non-destructive methods based on elastic waves: monograph]. Kyiv, Tehnika Publ., 2009. 261 p. (in Ukrainian).
  - Troitsky V.A., Bondarenko A.I., Troitskaya N.V., Shekero A.L. O kollektivnom projekte stran Yevropy po monitoringu sostoyaniya obyektov posredstvom dalnodeystvuyushchego ultrazvuka (LRUCM) [On the collective project of European countries on monitoring the state of buildings by means of long-range ultrasound (LRUCM)]. *Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing*, 2007, no. 1, pp. 17–23 (in Russian).
  - Serikov Ya.O. Problemy rozvytku ta vprovadzhennya ultrazvukovoho impulsnoho metodu v zavdanni vymiryuvannya parametriv dlya vyznachennya fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk betonu ekspluatovanykh budynkiv i sporud [Problems of developing and implementing the ultrasonic pulse method when solving the problem of measurement of parameters to determine physical-mechanical characteristics of concrete in operating buildings and constructions]. *Metrology and instruments*, 2019, no. 5, pp. 56–61 (in Ukrainian). doi: 10.33955/2307-2180(5)2019.56-61
  - Serikov Ya.O. Teoretychni osnovy pidvyshchennya tochnosti informatsiyno-vymiryvalnykh system dlya kontrolyu yakosti budivelnnykh materialiv u konstruktivnykh ta sporudakh [Theoretical foundations of the accuracy improvement of information and measuring systems for quality control of building materials in designs and constructions]. *Strategy of quality in industry and education: proceedings of XI International Conference. International scientific journal Acta Universitatis Pontika Euximus*. Special issue. Technical University of Varna, Bulgaria, 2015, vol. 2, pp. 386–391 (in Ukrainian).
  - Pat. 70786, МПК7 G 01 N 33/38. Prystriy dlya kontrolyu yakosti betonu u vyrobakh [Device for quality control of concrete in products]. Serikov Ya.O., Shutenko L.M., Zolotov M.S. Publ. bul. № 10, 2004 (in Ukrainian).
  - Kolganov V.I. Ultrazvukovoy beskontaktnyy metod i programmno-apparatnyye sredstva avtomatizirovannogo nerazrushayushchego kontrolya kachestva izdeliy iz polimernykh kompozitsionnykh materialov [Ultrasonic non-contact method and software and hardware of automated non-destructive quality control of products made from polymeric composite materials]: dis. ... cand. of tech. sciences. St. Petersburg, 2001. 125 p. (in Russian).
  - Rykov A.N. Ultrazvukovoy akusticheskiy kontrol s identifikatsiyey defektov izdeliy iz polimernykh kompozitsionnykh materialov [Ultrasonic acoustic control with identification of defects in products made from polymer composite materials]: dis. ... cand. of tech. sciences. Moscow, 2018. 132 p. (in Russian).
  - Serikov Ya.O. Pidvyshchennya dostovirnosti y operativnosti doslidzhen odnorodnosti, struktury betonu v ekspluatovanykh konstruktivnykh ta sporudakh neruynivnym ultrazvukovym impulsnym metodom [Increasing the reliability and efficiency of research on the homogeneity and structure of concrete in operating buildings and constructions by non-destructive ultrasonic pulse methods]. *Innovative technologies in science and education. European Experience: proceedings of III International Conference. UvA University, Amsterdam, 2019, pp. 330–335 (in Ukrainian).*