

УДК 551.311.22

О.Р. БЕЛЄВЦЕВ, кандидат геологічних наук
 О.Л. ГЕЛЕТА, кандидат геологічних наук
 О.В. ГРУЩИНСЬКА, кандидат геологічних наук
 І.О. ЄМЕЛЬЯНОВ
 І.А. СЕРГІЄНКО
 С.І. ТРОХІМЕЦЬ

ДГЦУ

ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ЗБЕРЕЖЕНОСТІ ПАМ'ЯТОК З ДЕКОРАТИВНОГО КАМІННЯ УКРАЇНИ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗОНДУВАННЯ

В статье рассмотрены методические приемы изучения дефектности изделий из природных декоративных камней месторождений Украины с помощью ультразвуковой дефектоскопии. При определении сохранности используется сравнение скорости распространения упругих волн в изделии и в эталонном образце из коллекции торговых марок декоративного камня.

The article deals with the study of instructional techniques defective products from natural deposits of decorative stones Ukraine using ultrasonic inspection. In determining the safety of using a comparison rate of propagation of elastic waves in the product and in the reference sample from the collection of brands of decorative stone.

У наш час декоративне каміння є одним з важливих конструкційних матеріалів. Протягом століть природний камінь використовують для виробництва скульптур, архітектурно-будівельних елементів, облицювальних плит, постаментів під монументальні та ритуальні об'єкти, плит для мостіння та каменю для брукування.

Україна є одним з найбільших виробників декоративних кам'яних матеріалів на світовому ринку. Географія відправок вітчизняного каменю у вигляді сировини або готових виробів включає Італію, Німеччину, Китай, Росію, Білорусь, країни Прибалтики, Польщу, Грузію, Азербайджан. Однак під час експлуатації кам'яних виробів декоративний камінь і вироби з нього можуть отримувати значні зовнішні та внутріш-

ні дефекти [5, 6], що нерідко призводить до фактичної втрати товарного вигляду та зниження споживчої якості. Такі події досить часто спричиняють суттєві фінансові втрати, пов'язані з ремонтом виробів з декоративного каміння, облицювання, елементів мостіння тощо.

Для вирішення цієї проблеми є необхідним періодичний контроль якості кам'яних виробів неруйнівними методами досліджень, з яких найбільш вживаною є ультразвукова дефектоскопія [1]. Ультразвукові хвилі у твердих тілах у наш час знаходять широке застосування на практиці. Висока чутливість ультразвукових хвиль до неоднорідності середовища дозволяє визначити наявність і характер дефектів у матеріалах, «непрозорих» під час дослідження ін-

шими методами. Удосконалення техніки експерименту, розширення діапазону частот пружних хвиль поряд з розвитком теоретичних уявлень про механізм поширення пружних хвиль у твердих тілах привели до того, що ультразвукові методи стали незамінними у фізиці твердого тіла та в дослідженні якісних характеристик конструкційних і будівельних матеріалів.

У силовому електронному блоці дефектоскопу створюється короткий імпульс електричної напруги. Цей імпульс подається на датчик, основою якого є кварцова п'єзоелектрична пластина. За рахунок зворотного п'єзоефекту товщина пластини змінюється пропорційно напрузі на її обкладках [3].

Зовнішня сторона п'єзопластини є робочою поверхнею датчика. Вона при-

тискається до поверхні еталонного зразка або виробу з декоративного каменю. У результаті в зразку збуджується поздовжня хвиля – короткий імпульс у вигляді декількох періодів синусоїдального сигналу. Цей імпульс поширюється у зразку і відбивається від можливих розсіювачів та фізичних меж. Розсіяний сигнал може бути прийнятий або тим самим датчиком, або другим аналогічним датчиком, розташованим в іншому місці поверхні матеріалу. При прийомі акустична хвиля призводить до зміни товщини п'єзопластини датчика, внаслідок чого спостерігається виникнення електричного сигналу за рахунок прямого п'єзоефекту [2].

Прийняті сигнали обробляються приймальним електронним блоком і відображаються на моніторі дефектоскопа. За їх амплітудою і затримкою за відомої швидкості хвилі можна знаходити глибину залягання і силу розсіювачів (дефектів або фізичних поверхонь середині зразка [4]).

Під час проведення вимірювань важливо забезпечити належний контакт між поверхнями датчика і зразка, для того щоб пружна хвиля могла проходити з одного тіла в інше без зайвих енергетичних втрат («акустичний контакт»). У разі простого стиснення двох поверхонь вони контактують одна з одною лише в невеликій кількості точок, тому що завжди є певні шорсткості і нерівності. У результаті через велику різницю акустичних імпедансів повітря і твердого тіла проходження акустичної хвилі через межу розділу виявляється дуже неефективним. Щоб обійти зазначений ефект, поверхню контакту зазвичай змочують рідиною або гелем, які, на відміну від повітря, близькі за акустичним імпедансом до матеріалу зразків. У цій роботі такою рідиною є вода або вазелінове масло, невелика кількість якого наноситься на поверхню контакту. Зазначимо, що навіть у разі слабого притискання датчика до зразка шар контактної рідини досить тонкий, тобто він не впливає на характеристики випромінених і прийнятих сигналів.

На сьогодні питання ультразвукового визначення стану збереженості виробів, виготовлених з декоративного каменю родовищ України, є малодослідженим, особливо у частині методичних рекомендацій щодо визначення ін-

тенсивності розвитку дефектів, спричинених дією шкідливих факторів навколишнього середовища.

У 2014 році в Державному гемологічному центрі України (далі – ДГЦУ) проходив заключний етап науково-дослідної роботи «Створення методики визначення стану збереженості пам'яток з декоративного каміння України за допомогою ультразвукового зондування».

Науково-дослідна робота була виконана в ДГЦУ на основі польових та лабораторних досліджень швидкості поширення поверхневих ультразвукових хвиль у виробках з природного декоративного каміння. Для виконання робіт використовувався ультразвуковий п'єзоелектричний дефектоскоп MATEST C372N з частотою ультразвукових коливань 55 кГц та зразки декоративного каміння з колекції еталонів ДГЦУ.

Досліджено швидкість поширення пружних поверхневих хвиль Релея у поверхневих шарах виробів з декоративного каміння. Збудження пружних хвиль здійснювалось за допомогою п'єзоелектричних перетворювачів, що утворюють пружні імпульси на кілогерцових частотах. Приймання сигналу виконувалось таким самим п'єзодатчиком. Якщо відстань між джерелом і приймачем є відомою, то дефектоскоп можна застосувати для вимірювання швидкості пружних хвиль в однорідних матеріалах. Саме для таких вимірювань використовується дефектоскоп у нашій роботі.

Під час встановлення стану збереженості використовується порівняння швидкості поширення пружних хвиль Релея в матеріалі виробу з декоративного каміння та в матеріалі еталонного зразка певної торгової марки декоративного каміння з колекції ДГЦУ.

Завдання оператора полягає у спостереженні на моніторі дефектоскопу електричних сигналів, що відповідають надходженню на датчик пружних поверхневих хвиль, і в реєстрації мінімального часу поширення зазначених хвиль (t) між випромінювачем та детектором.

Швидкість пружних ультразвукових хвиль (V) обчислюється шляхом ділення відстані між випромінювачем і детектором (L) на мінімальний час проходження хвилі (t), який було зафіксовано прибором:

$$V = L / t$$

Враховуючи певну анізотропію природних гірських порід, для підвищення достовірності даних слід зробити від 15 до 20 вимірювань у різних точках виробу, що досліджується.

Відстань між приймачем та випромінювачем (L) має знаходитись у межах 100-300 мм.

У ролі параметра, який характеризує ступінь збереженості виробів з декоративного каміння, використовується акустичний коефіцієнт (K_a) [5], який дорівнює відношенню швидкості (V'), що була виміряна на об'єкті, до швидкості в еталонному зразку з колекції ДГЦУ (V):

$$K_a = V' / V$$

Чим більшим є ступінь пошкодження матеріалу виробу внаслідок процесів вивітрювання, тим меншим буде значення акустичного коефіцієнта K_a . Якщо значення $K_a=1$, то ознаки пошкодження від дії шкідливих факторів відсутні. Якщо значення $K_a=0$, то дефектність матеріалу виробу є надзвичайно високою, що свідчить про потребу реставрації або повної заміни виробу.

У разі відсутності еталонного зразка в колекції ДГЦУ (наприклад, якщо родовище вже не розробляється) визначення стану збереженості проводиться за допомогою еталонних зразків з колекції ДГЦУ, які є найбільш подібними за мінералого-петрографічною характеристикою та текстурними особливостями.

Прогнозування залишкового терміну експлуатації виробу (пам'ятки, облицювання, деталі тощо) базується на кореляції часу експлуатації з діагностичним параметром – акустичним коефіцієнтом (K_a).

Довговічність (D) певного виду природного каменю є часовим проміжком експлуатації ряду виробів певної торгової марки між значеннями акустичного коефіцієнту $K_a=1$ (пошкодження відсутні) і $K_a=0$ (пошкодження значні).

При лінійній кореляції акустичного коефіцієнту (K_a) з довговічністю (D) залишковий ресурс (R) обчислюється за формулою:

$$R = D - T,$$

де T – поточний час експлуатації виробу (в роках).

Метод оцінки стану збереженості виробів та прогнозування залишкового ресурсу за допомогою встановлення поточних акустичних коефіцієнтів є вельми простим і зручним. Такий метод дозволяє оцінювати стан (ступінь деградації) матеріалу виробу безпосеред-

ньо у ході будівництва, ремонту або реставрації, не демонтуючи виріб чи його деталь, не вирізаючи з неї зразків і не проводячи додаткових лабораторних досліджень.

Отримані дані можуть бути використаними для визначення залишкового ресурсу виробу безпосередньо у польових умовах.

Дослідження довговічності природного каміння з родовищ України сприятиме більш широкому використанню вітчизняних декоративних матеріалів з архітектурно-будівельною метою як у нашій країні, так і за кордоном, підвищенню стійкості виробів та оптимальному підбору типів декоративного каміння до певних умов експлуатації.

Використана література

1. Красильников В.А. Введение в акустику: Учебное пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 199. – 152 с.
2. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. – М.: Наука, 1984. – 403 с.
3. Кайно Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 656 с.
4. Ермолов И.Н., Алёшин Н.П., Потапов А.И. Неразрушающий контроль. Книга 2: Акустические методы контроля: практическое пособие. / Под ред. Сухорукова В.В. – М.: Высшая школа, 1991. – 283 с.
5. Сычев Ю.И. Патология природного камня. – М.: Полет Камня и Мы, 2009. – 284 с.
6. Ярг Л.А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании. – М.: Недра, 1974. – 192 с.