

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Барабанова Станіслава Сергійовича на тему «**Забезпечення безпеки експлуатації будівель і споруд з урахуванням методу віброакустичного контролю**», що представлена до захисту в разову спеціалізовану вчену раду ННІ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – «Цивільна безпека»

1 Актуальність роботи

На сьогоднішній день зроблено значний крок у вдосконаленні способів та засобів контролю різних середовищ, технологічних параметрів, стану об'єктів. Зокрема у промислово розвинених країнах є системи моніторингу на базі сучасних інформаційних технологій, які інтегровані в системи контролю за безпекою виробництва та життєдіяльності людини, що створюють можливість для високої оперативності збору, аналізу та інтерпретації даних, а також дозволяють проводити прогнозування та запобігання аварійним ситуаціям. Такі системи знаходять застосування у різних галузях, включаючи промислове виробництво, екологічний моніторинг, будівельний та енергетичний сектори, суттєво сприяючи підвищенню безпеки та ефективності виробничих процесів.

Одними з найбільш перспективних і затребуваних на виробництві є методи неруйнівного контролю, які дозволяють отримувати необхідну інформацію про стан системи без необхідності втручання в її структуру і функціонування. Ці методи можуть забезпечувати високу точність діагностики і допомагають виявляти дефекти, тріщини, корозію та інші потенційні проблеми на ранніх стадіях, що значно знижує ризики аварій та простоїв обладнання. Неруйнівний контроль є особливо цінним для моніторингу критично важливих об'єктів, таких як тунелі, висотні будівлі та промислові споруди. Багато методів неруйнівного контролю (ультразвукові, рентгенографічні, термографічні та інші) мають свої переваги і застосовуються залежно від специфіки завдання, матеріалу об'єкта та необхідного рівня точності. Для задач виявлення прихованої пошкодженості в будівлях і спорудах найбільш відповідним є віброакустичний контроль, який заснований на аналізі коливальних процесів та акустичних хвиль у матеріалах і конструктивних елементах будівель та споруд. Розвиток цієї технології особливо важливий для раннього виявлення тріщин, розшарувань, втомних пошкоджень і інших дефектів, які можуть виникати в результаті тривалої експлуатації, впливу вібрацій, динамічних навантажень, перепадів температур та інших факторів.

Тим не менш, застосування методів віброакустичного контролю ускладнюється декількома проблемами, пов'язаними зі складністю інтерпретації сигналів, необхідністю врахування багатьох факторів, що впливають на поширення акустичних хвиль, а також залежністю результатів від точності та якості вимірювального обладнання. Окрему проблему представляє відсутність засобів, які в автоматичному режимі генерують коливання заданої амплітуди та частоти. Для вирішення цих завдань необхідні подальші дослідження та розробки в галузі математичного моделювання процесів поширення хвиль в

конструкціях, розробки автоматизованих систем віброударної дії, створення програмного забезпечення для аналізу та інтерпретації даних. Саме тому тема дисертаційної роботи Станіслава Барабанова щодо забезпечення безпеки експлуатації будівель та споруд з урахуванням методів, програмних та технічних засобів віброакустичного контролю актуальна і затребувана.

Дисертаційна робота відповідає пріоритетним напрямкам науково-дослідних робіт, що пов'язані: Загальнодержавною соціальною програмою поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 роки; Указом Президента України Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року, а також розділу науково-дослідної роботи «Розробка метода управління геотехнічною системою «породний масив-гірничі виробки» з урахуванням факторів ризику» № ДР 0119U001349 (2024 р.), де здобувач приймав участь в науковій діяльності щодо розробки методичного забезпечення безпеки будівель і споруд.

2. Наукова новизна отриманих у дисертації наукових результатів

Хотів би відзначити, що автор продемонстрував системність та широкий погляд на завдання, яке було вирішено в роботі. Простежується послідовність вирішення задач досліджень, грамотна теоретична складова досягнутих результатів (аналітичні методи класичної теорії хвиль і статистики, комп'ютерне моделювання і лабораторні дослідження динамічних процесів), що свідчить про хорошу наукову школу, і, у сукупності, забезпечило якість отриманих наукових результатів.

Вважаю, що новизна наукових положень і *найбільш вагомими науковими результатами* дисертаційної роботи полягають у тому, що для вирішення задач визначення прихованої пошкодженості в елементах будівельних конструкцій здобувач на базі *встановлених закономірностей і взаємозв'язків* основних віброакустичних параметрів із проявами дефектів та пошкоджень в залежності від виду матеріалів *отримав подальший розвиток* метод оцінки пошкоджень і тріщинуватості з урахуванням параметрів віброакустичного контролю руйнування, що дозволяє знизити аварійність об'єктів і своєчасно вжити заходи безпеки.

Для вирішення наукового завдання вперше отримано такі результати:

- розроблено нові моделі та алгоритми автоматичного керування вібраційним збуджувачем для отримання коливань із заданими амплітудними та частотними характеристиками, що необхідно для створення збуджуючого ударного впливу з потрібними параметрами при віброакустичному контролі;

- вперше обґрунтовано використання коефіцієнтів зменшеної розрядності в обчислювальній схемі за алгоритмом J. Crenshaw, що дозволяє керувати виконавчими органами з обмеженою обчислювальною продуктивністю при віброакустичному моніторингу структури, тріщин та порушень однорідності;

- вперше для віброакустичного контролю внутрішньої пошкодженості будівель і споруд виконано наукове обґрунтування урахування хаотичної

складової процесу руйнування, розроблено програмну модель та структурну схему збуджувача віброакустичних коливань, що описується системами диференційних рівнянь Лоренца Е. та Чена Х;

- вперше для виробки типових впливів в системі віброакустичної діагностики розроблено програмний модуль та генератор механічних коливань із заданим частотним спектром на основі програмованого контролера та сервопривода, що створює умови для автоматизації процесу контролю будівель і споруд;

- вперше для оцінки рівня пошкодженості будівель і споруд внаслідок впливу комплексу негативних факторів при їх експлуатації запропоновано показники, що відображають інтегральний ризик втрати стійкості споруд за ризиками впливу зовнішніх структурних пошкоджень, які ідентифікуються методами візуального контролю та за ризиками впливу прихованих пошкоджень, параметри яких визначаються віброакустичним методом, що у сукупності дозволяє дати оперативну та інтегральну оцінку безпеки конструктивних елементів будівель та споруд.

Слід зазначити, що здобувач показав глибокі знання за темою дисертації. Таким чином вважаю, що наукове завдання вирішено, результати мають новизну, а поставлена в дисертації мета досягнута.

3. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у тому, що на базі отриманих наукових результатів розроблено моделі та алгоритми автоматичного керування для віброакустичного контролю тріщинуватості, методичні та практичні рекомендації з оцінки пошкодженості конструктивних елементів будівель і споруд.

Серед основних практичних результатів слід виділити наступні:

- програмні алгоритми керування вібраційним збуджувачем для отримання коливань із заданими амплітудними та частотними характеристиками, що дає базу для автоматизації віброакустичного контролю тріщинуватості в елементах будівель і споруд;

- розробку і практичну апробацію в лабораторних умовах генератора коливань для автоматизації процесу віброакустичної діагностики будівель і споруд;

- розробку «Методичних рекомендацій з оцінки пошкодженості конструктивних елементів будівель і споруд віброакустичним методом для забезпечення безпеки їх експлуатації», які встановлюють алгоритм ідентифікації пошкоджень в конструктивних елементах будівель і споруд віброакустичним методом.

Основні результати досліджень автора впроваджені:

- в Головному Управлінні Державної служби з надзвичайних ситуацій України у Дніпропетровській області де розроблені методичні рекомендації

використовуються для вдосконалення ризик-орієнтованого управління і підтримання прийнятного рівня ризику при експлуатації будівель і споруд;

- в навчальний процес кафедри охорони праці, цивільної та техногенної безпеки Придніпровської державної академії будівництва та архітектури МОН України де використовуються для підвищення якості підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 263 – «Цивільна безпека».

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність отриманих автором наукових результатів, висновків і рекомендацій забезпечується використанням аналітичних методів класичної теорії хвиль, аналізом експериментальних даних, лабораторними дослідженнями моделей складних коливань, дослідженнями спектральної щільності акустичних відгуків, алгоритмів керування віброакустичними коливаннями із заданими характеристиками та позитивними результатами впровадження розробок.

5. Оцінка змісту роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і п'яти додатків. Загальний обсяг дисертації – 155 сторінок, у тому числі 36 рисунків та 6 таблиць.

У першому розділі проведено аналіз стану безпеки будівель і споруд при тривалій експлуатації з урахуванням руйнівних впливів. Проаналізовані фактори навколишнього середовища, що впливають на руйнування наземних та поглиблених споруд і створюють небезпечні умови під час їх тривалої експлуатації. Показано, що процес втрати має два основних типа. Це поступове ослаблення несучих конструкцій внаслідок накопичення внутрішніх пошкоджень та раптове розвантаження гранично-напружених конструкцій внаслідок не тільки накопичення до критичного рівня внутрішніх пошкоджень, а і зовнішнього стресового чинника (вибух, пожежа) . Накопичення внутрішніх пошкоджень в несучих стінах та фундаментах будівель є однією з найбільш поширених ознак потенційного руйнування в процесі експлуатації. Для моніторингу і діагностики запропоновано віброакустичний метод контролю. На основі проведеного аналізу було сформульовано мету та задачі дослідження.

У другому розділі проведено ідентифікацію структурних порушень в дерев'яних, бетонних і металевих матеріалах будівель і споруд віброакустичним методом. Встановлено, що при пошкодженні конструктивних елементів будівель і споруд виникають впорядковані та хаотичні системи тріщин, розміри яких, у випадках прихованого внутрішнього руйнування, значно нижче області контролю. Запропоновано визначати інтегральні показники пошкодження елементів конструкцій, які зв'язані з зонами акустичної чутності резонансних хвиль. На базі цих показників можливо ідентифікувати ризики втрати стійкості об'єкта. Проведено апробацію методу віброакустичного контролю пошкоджень конструктивних елементів споруд і визначено зони прихованих тріщин та

пошкоджень у бетоні. Для підвищення швидкості та підвищення достовірності оцінок пошкоджень обґрунтована необхідність розробки моделей складних коливань для автоматизації процесу контролю.

У третьому розділі розроблено моделі та алгоритми складних коливань, які дозволяють підвищити достовірність контролю і реалізувати нові закони керування, неможливі для класичних вібраційних систем але необхідні для систем автоматизованого віброакустичного контролю будівель та споруд. Для віброакустичного контролю внутрішньої пошкоженості наземних споруд виконано наукове обґрунтування урахування хаотичної складової процесу руйнування. Удосконалено методи і алгоритми автоматичного керування збуджувачем коливань для отримання полічастотних коливань, лінійних хвиль із заданими амплітудними та частотними характеристиками, що дозволяє своєчасно оцінити стійкість споруд критичної інфраструктури та підвищити безпеку при їх експлуатації. Апробовано в лабораторних умовах збуджувач коливань для системи автоматизованого віброакустичного контролю безпеки експлуатації будівель і споруд.

У четвертому розділі розроблено методи підвищення безпеки експлуатації будівель і споруд з урахуванням програмних і технічних засобів віброакустичного контролю. Проведено моделювання процесу руйнування методом скінченних елементів яке показало, що зони прихованої пошкоженості активно розвиваються всередині стінових конструкцій будівель і споруд до того, як тріщини на поверхнях визначаються візуально. Для систем віброакустичної діагностики розроблено генератор коливань із заданим частотним спектром на основі програмованого логічного контролера та елементів людино-машинного інтерфейсу. Для оцінки пошкоженості об'єктів контролю вперше запропоновано використовувати показник, що відображає інтегральний ризик втрати стійкості конструктивних елементів споруд. Ризик визначається ідентифікацією зовнішніх пошкоджень методом візуального контролю та прихованих пошкоджень віброакустичним методом. Проведено лабораторні випробування роботи генератора та встановлено, що задані характеристики забезпечуються, а механізм сервоприводу виконує запрограмоване завдання. В результаті проведених досліджень розроблені та впроваджені «Методичні рекомендації з оцінки пошкоженості конструктивних елементів будівель і споруд віброакустичним методом для забезпечення безпеки їх експлуатації».

Розділи мають завершений зміст, підпорядковані одній ідеї, містять достатню кількість ілюстрацій і завершуються висновками. Робота не містить елементів плагіату та запозичень, є результатом самостійних досліджень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

6. Зауваження по роботі

1. Для підвищення безпеки експлуатації будівель і споруд автор провів комплекс досліджень для визначення прихованої пошкоженості в елементах будівельних конструкцій віброакустичним методом. Тому ідею роботи можна

було б сформулювати ширше, як «...використання збуджуючих коливань із заданими частотними, динамічними та статистичними параметрами для віброакустичного контролю (діагностики та моніторингу) об'єктів на основі комплексного критерію безпеки, який враховує специфічну реакцію об'єктів на такі коливання».

2. В розділі 3 не вказано, чи оцінювались технічні характеристики сучасної приводної техніки з точки зору забезпечення можливості реалізації збудження механічних коливань із заданими параметрами. Тому виникають деякі питання. Яку максимальну частоту, амплітуду та енергію коливань можна отримати? Чи забезпечує лабораторний стенд (вочевидь невисокої потужності) збудження коливань для діагностики реальних об'єктів, а не тільки моделей?

3. Автор у роботі провів дуже цікаві лабораторні експерименти, але не показав, наскільки коректно розповсюджувати отримані в лабораторії результати на об'єкти, маса та розміри яких більші на один-два порядки. Виникає питання, наскільки модель адекватна за збігом властивостей та характеристик до реальних об'єктів? Використання специфічних механічних коливань та нового комплексного критерію безпеки чи не потребує додаткового обґрунтування адекватності моделей?

Зазначені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки й можуть бути предметом дискусії під час обговорення роботи.

7. Загальні висновки

1. Дисертація Барабанова Станіслава Сергійовича є завершеною науково-дослідною роботою в галузі цивільної безпеки, в якій дано нове рішення актуального науково-технічного завдання забезпечення безпеки експлуатації будівель і споруд з урахуванням розроблених методів, програмних і технічних засобів віброакустичного контролю прихованої пошкодженості елементів будівельних конструкцій.

2. Робота пов'язана з державними науковими програмами і темами, сформульовані положення мають наукову новизну, результати досліджень достатньо обґрунтовані та достовірні.

3. Дисертаційна робота написана з використанням сучасної науково-технічної термінології, достатньо наповнена ілюстративним матеріалом та відповідними таблицями.

4. Опубліковані наукові статті розкривають зміст дисертації. За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць з них: 5 статей у наукових фахових виданнях, 3 – у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій. Основні результати роботи апробовані і обговорювалися на міжнародних конференціях.

5. Розробки впроваджені в Головному Управлінні ДСНС України у Дніпропетровській області та в навчальні процеси вищої освіти з питань цивільної безпеки, мають перспективу подальшої реалізації.

6. Дисертація відповідає діючим вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступені доктора філософії, в тому числі вимогам «Порядку

присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р., «Вимогам до оформлення дисертації», затвердженим наказом МОН України від 12.01.2017 № 40, а також напрямам досліджень спеціальності 263 – «Цивільна безпека».

7. За нове рішення актуального наукового завдання в галузі цивільної безпеки, яке полягає у встановленні закономірностей змін віброакустичних параметрів при розвитку тріщинуватості, розробці алгоритмів і моделей керування віброакустичними коливаннями із заданими амплітудними та частотними характеристиками для визначення прихованої пошкодженості в елементах будівельних конструкцій віброакустичним методом, які впроваджено в ДСНС України, що має суттєве значення для безпеки експлуатації будівель і споруд, здобувач Барабанов Станіслав Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – «Цивільна безпека».

Офіційний опонент

старший науковий співробітник відділу
проблем розробки родовищ на великих глибинах
ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник



І.М. Слащов

13.08.2024р.

Засвідчую:
Начальник відділу кадрів