

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

Ситуація в Україні, спричинена надзвичайними обставинами, зокрема військовими діями, призвела до безпрецедентного рівня руйнувань, що становить серйозну загрозу для безпеки критичної інфраструктури, промислових об'єктів та цивільних будівель. У цих умовах регулярний та ретельний контроль стійкості конструкцій стає не просто важливим, а життєво необхідним заходом для забезпечення безпечної експлуатації об'єктів. Втрата стійкості конструкцій, особливо внаслідок військових дій, може відбуватися як поступово, так і раптово, в залежності від характеру пошкоджень. Особливу небезпеку становлять приховані дефекти несучих конструкцій будівель та споруд, які можуть виникати внаслідок тривалої експлуатації, вібрацій, динамічних навантажень, перепадів температур та, зокрема, впливу ударних хвиль від вибухів. Для виявлення та оцінки ступеня пошкоджень найбільш доцільним є застосування сучасних геофізичних методів неруйнівного контролю, зокрема одним з найбільш ефективних методів для виявлення прихованих дефектів у конструкціях є віброакустичний контроль. Застосування даного методу для визначення різноманітного спектру прихованих пошкоджень дозволить знизити ризики виникнення аварійних ситуацій та забезпечить довготривалу експлуатацію інженерних об'єктів, як критичної інфраструктури так цивільних будівель. Розробка алгоритмів і моделей керування віброакустичними коливаннями із

заданими амплітудними та частотними характеристиками дозволить здійснювати моніторинг та прогнозування стану елементів конструкцій будівель та споруд.

Впровадження інноваційних методів віброакустичного контролю є актуальними та дозволять підвищити точність діагностики, знизити ризик аварійних ситуацій та забезпечити довготривалу експлуатацію інженерних об'єктів. Це, в свою чергу, сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підвищення надійності вітчизняної промисловості та забезпеченню безпеки населення. Запропонований метод з використанням удосконаленого генератора-збуджувача коливань дозволяє проводити більш точну і детальну діагностику прихованих пошкоджень у будівельних конструкціях, що є критично важливим для забезпечення безпеки в умовах сучасних викликів. В умовах відбудови та модернізації країни це стає ключовим фактором для забезпечення сталого розвитку та підвищення конкурентоспроможності України на міжнародній арені. Таким чином, розвиток та впровадження передових методів віброакустичного контролю є не просто актуальним науково-технічним завданням, а стратегічно важливим напрямком для забезпечення національної безпеки та економічного відновлення країни.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконувалась відповідно наукової 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.

Дослідження виконано відповідно до державних документів, що визначають напрямки підвищення безпеки та гігієни праці в Україні, зокрема:

- розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 р. № 989-р;

- загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 роки;
- Указу Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року», виданий 30 вересня 2019 року №722/2019.

3. Наукова новизна отриманих у дисертації наукових результатів

Ознайомлення з матеріалами дисертації свідчить, що дисертант вдало сформулювала мету й завдання дослідження та успішно їх вирішив.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступних наукових положеннях:

1. Подальший розвиток отримав метод оцінки пошкоджень і тріщинуватості конструктивних елементів будівель і споруд з урахуванням параметрів віброакустичного контролю руйнування споруд, що дозволяє знизити аварійність об'єктів і своєчасно вжити заходи безпеки.
2. 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.
3. 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 диференціальних рівнянь Лоренца Е. та Чена Х.
4. 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 з використанням елементів людино-машинного інтерфейсу, що створює умови для автоматизації процесу контролю будівель і споруд.

5. 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 двома основними групами небезпечних факторів. Перша група пов'язана з ризиками впливу зовнішніх структурних пошкоджень, які ідентифікуються методами візуального контролю, друга група – з ризиками впливу прихованих пошкоджень, параметри яких визначаються віброакустичним методом, що у сукупності дозволяє дати оперативну та інтегральну оцінку безпеки конструктивних елементів будівель та споруд.

4. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Розроблено програмні алгоритми і технічні засоби автоматичного керування вібраційним генератором-збуджувачем для отримання коливань із заданими амплітудними та частотними характеристиками. Це створює необхідну і достатню базу для автоматизації віброакустичного контролю тріщинуватості в елементах будівель і споруд, що підвищує ефективність та точність діагностики.
2. Створено та практично апробовано в лабораторних умовах генератор механічних коливань на основі програмованого контролера та сервопривода. Цей пристрій дозволяє виробляти типові впливи та автоматизувати процес віброакустичної діагностики будівель і споруд, що значно прискорює та спрощує процедуру контролю.
3. Розроблено та впроваджено "Методичні рекомендації з оцінки пошкодженості конструктивних елементів будівель і споруд віброакустичним методом для забезпечення безпеки їх

експлуатації". Ці рекомендації встановлюють методи ідентифікації пошкоджень в умовах надзвичайних ситуацій, обумовлених тривалою експлуатацією об'єктів інфраструктури та динамічними впливами від вибухів і пожеж.

4. Методичні рекомендації впроваджено в практичну діяльність Головного Управління Державної служби з надзвичайних ситуацій України у Дніпропетровській області. Вони використовуються для вдосконалення ризик-орієнтованого управління і підтримання прийнятного рівня ризику при експлуатації будівель і споруд.
5. Результати дослідження інтегровано в навчальний процес кафедри охорони праці, цивільної та техногенної безпеки Придніпровської державної академії будівництва та архітектури МОН України. Це сприяє підвищенню якості підготовки фахівців за спеціальністю 263 – "Цивільна безпека".

5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість одержаних результатів, коефіцієнтів кількісних даних щодо складової процесу руйнування наведених у роботі обумовлені застосуванням сучасних методик, сучасної вимірювальної апаратури та прийнятна збіжність експериментальних та розрахункових результатів на основі автоматичного керування вібраційним генератором - збуджувачем для отримання коливань із заданими амплітудними та частотними характеристиками. Результати досліджень висвітлені у багатьох рецензованих наукових виданнях, доповідалися на міжнародних науково-практичних конференціях, тобто пройшли широку апробацію.

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.

6. Оцінка змісту роботи

Дисертація написана грамотною технічною українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. 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 досліджено проблематику безпеки будівель і споруд в умовах тривалої експлуатації та руйнівних впливів. Розглянуто екологічні фактори, що спричиняють руйнування наземних та підземних конструкцій, створюючи небезпечні умови експлуатації.

Виділено два основні типи втрати стійкості споруд:

- Поступове ослаблення несучих конструкцій через накопичення внутрішніх пошкоджень.
- Раптове розвантаження гранично-напружених конструкцій, спричинене як критичним рівнем внутрішніх пошкоджень, так і зовнішніми стресовими чинниками (вибухи, пожежі).

Накопичення внутрішніх пошкоджень у несучих стінах та фундаментах є одним з найпоширеніших індикаторів потенційного руйнування під час експлуатації. Для ефективного моніторингу та діагностики запропоновано використання віброакустичного методу контролю. На підставі проведеного аналізу визначено мету та завдання дослідження, які спрямовані на розробку ефективних методів оцінки та прогнозування стану будівель і споруд для забезпечення їх безпечної експлуатації.

У другому розділі здійснено ідентифікацію структурних пошкоджень у дерев'яних, бетонних і металевих матеріалах будівель і споруд за допомогою віброакустичного методу. Виявлено, що при пошкодженні

конструктивних елементів будівель і споруд утворюються впорядковані та хаотичні системи тріщин, розміри яких, у разі прихованого внутрішнього руйнування, значно менші від області контролю. Запропоновано визначати інтегральні показники пошкоджень елементів конструкцій, пов'язані із зонами акустичної чутності резонансних хвиль. Ці показники дозволяють ідентифікувати ризики втрати стійкості об'єкта. Запропонований метод віброакустичного контролю пошкоджень конструктивних елементів споруд пройшов апробацію, під час якої були визначені зони прихованих тріщин та пошкоджень.

У третьому розділі були розроблені моделі та алгоритми складних коливань, які дозволяють підвищити точність контролю і впровадити нові закони керування, що не можуть бути реалізовані в класичних вібраційних системах, але необхідні для автоматизованих систем віброакустичного контролю будівель та споруд. Для віброакустичного контролю внутрішніх пошкоджень наземних споруд було науково обґрунтовано врахування хаотичної складової процесу руйнування. Удосконалено методи та алгоритми автоматичного керування генератором -збуджувачем коливань для створення полічастотних коливань і лінійних хвиль із заданими амплітудними та частотними характеристиками, що дозволяє своєчасно оцінити стійкість критичних інфраструктур і підвищити їхню безпеку при експлуатації. Наведено дослідження у лабораторних умовах генератор-збуджувач коливань для системи автоматизованого віброакустичного контролю безпеки будівель і споруд.

У четвертому розділі були розроблені методи підвищення безпеки експлуатації будівель і споруд з урахуванням програмних та технічних засобів віброакустичного контролю. Моделювання процесу руйнування методом скінченних елементів показало, що зони прихованих пошкоджень активно розвиваються всередині стінових конструкцій задовго до того, як тріщини стають видимими на поверхні. Для систем віброакустичної діагностики було розроблено генератор - збуджувач коливань із заданим

частотним спектром на основі програмованого логічного контролера та елементів людино-машинного інтерфейсу. Вперше запропоновано використовувати показник, який відображає інтегральний ризик втрати стійкості конструктивних елементів споруд, що визначається шляхом ідентифікації зовнішніх пошкоджень візуальним методом і прихованих пошкоджень віброакустичним методом. Лабораторні випробування генератора показали, що він забезпечує задані характеристики, а сервопривід виконує запрограмовані завдання. В результаті досліджень були розроблені та впроваджені «Методичні рекомендації з оцінки пошкоджень конструктивних елементів будівель і споруд віброакустичним методом для забезпечення їхньої безпеки».

7. Зауваження до дисертаційної роботи

1. Вважаю, у оглядовому розділі варто було б більше уваги приділяти сучасним превентивним заходам та оцінці ризиків щодо запобігання аваріям та надзвичайним ситуаціям. Крім того, бажано оцінювати вплив зовнішніх факторів, таких як наприклад сейсмічна активність, на розвиток прихованих пошкоджень і ризику, пов'язані з цими факторами.

2. У розділі 2 на стр. 70. Згадуються частоти 25 КГц і 40 кГц, але не пояснюється, чому саме ці частоти були обрані, «Вимірювання виконані одночасно двома приладами з різними вхідними датчиками (на частоті 25 КГц і 40 кГц)...».

3. Автор стверджує, що пошкоджене середовище можна вважати квазіоднорідним, це припущення потребує додаткового обґрунтування. Як саме визначається ступінь неоднорідності і як це впливає на результати дослідження?

4. Бажано було представити результати досліджень у вигляді карт пошкоджень або графіків в залежності від зміни параметрів в різних точках конструкції.

5. В роботі було необхідно детальніше описати, як саме працює

запропонований генератор-збуджувач коливань. Який фізичних принцип покладено в основу його роботи? Які технічні рішення дозволяють виключити ланку і покращити технологічні характеристики?

6. У цілому дисертація оформлена добре, однак зустрічаються незначні недоліки, наприклад, у розділі 4 на стр. 126 фраза: «внаслідок накопичення критичної кількості конструктивних елементів або швидкого зростання тріщин» не зовсім зрозуміло, як накопичення елементів може призвести до втрати стійкості. Можливо, мається на увазі накопичення пошкоджень в елементах?

Загалом, вищезазначені зауваження мають дискусійний характер та не применшують високий теоретичний, науково-методичний та прикладний рівень проведеного здобувачем дослідження.

8. Загальні висновки

Актуальність дослідження, належний теоретико-методологічний рівень, аргументованість і вірогідність одержаних результатів, висновків і науково-методичних рекомендацій, наукова новизна та теоретичне значення, належний рівень апробації та впровадження, а також зміст і структурування рукописів дисертації дають підстави стверджувати, що дисертаційна робота Барабанова Станіслава Сергійовича на тему «Забезпечення безпеки експлуатації будівель і споруд з урахуванням методу віброакустичного контролю», є завершеною науковою працею та задовольняє всім вимогам, що передбачені наказом Міністерства освіти та науки від 12.07.2017 р №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії...» (пункти 5, 6, 8).

За вирішення актуального науково-технічного завдання щодо забезпечення безпеки експлуатації будівель і споруд з урахуванням методів, програмних і технічних засобів віброакустичного контролю прихованої пошкоженості елементів будівельних конструкцій Барабанова Станіслава

Сергійовича заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі
згань 26 – цивільна безпека, за спеціальністю 263 – Цивільна безпека.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,

професор кафедри охорони праці

та цивільної безпеки

Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»



Чеберячко Ю. І.

