

ВІДГУК

Бугаєвського Сергія Олександровича
офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, декана дорожньо-
будівельного факультету, професора кафедри мостів,
конструкцій і будівельної механіки ім. В. О. Російського
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету
на дисертаційну роботу Завгороднього Сергія Сергійовича на тему:
«Удосконалення методу визначення технічного стану елементів прогонової
будови мостів», подану на здобуття ступеня доктора філософії
у галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»
за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Мости в процесі експлуатації зазнають накопичення дефектів, старіння матеріалів, зміни умов взаємодії елементів, впливу транспортних і температурних навантажень. Для значної кількості мостів вихідна проєктна інформація є неповною, а розрахункові моделі не завжди відображають фактичну жорсткість, масу, роботу опорних частин та просторовий розподіл зусиль.

Традиційне обстеження залишається основою визначення технічного стану, однак саме по собі не дає прямої оцінки того, як виявлені дефекти змінили динамічну роботу прогонової будови. Статичні випробування дозволяють перевірити деформаційні характеристики, але їх виконання потребує значних організаційних ресурсів. Тому розвиток відносно простого імпульсного методу, який здатен надати додаткові інструментальні дані про жорсткість і просторову роботу конструкції, є актуальним.

Дисертація Завгороднього Сергія Сергійовича спрямована на вдосконалення цього підходу шляхом поєднання теоретичного опису імпульсного збудження, лабораторної перевірки, розрахункового модального аналізу та натурної апробації на реальних мостах в Україні. Обрана тема



відповідає сучасним завданням технічної діагностики й моніторингу транспортних споруд.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами

Основні дослідження виконано відповідно до тематичних планів Національного транспортного університету, Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України і ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури». Безпосередній зв'язок забезпечено НДР «Провести дослідження і розробити методичні рекомендації щодо модального контролю автодорожніх мостів для визначення їхнього технічного стану» від 21.11.2023 №66-23, державний реєстраційний номер 0123U104686. Отримані результати використано під час розроблення МР В.2.3-37641918-944:2024 та практичних випробувань мостів.

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел і додатки. Побудова роботи відповідає поставленим завданням.

У першому розділі розглянуто натурні статичні й динамічні випробування, історію розвитку засобів реєстрації коливань, місце модального контролювання у системі діагностики та можливості використання імпульсного збудження у динамічних випробуваннях. Автор слушно зазначає, що модальні параметри не замінюють обстеження і перевірни розрахунки, а доповнюють їх інформацією про фактичну роботу споруди.

Другий розділ формує теоретичну основу дослідження. Розглянуто математичні моделі різних видів збудження, перехід від скінченної імпульсної дії до вільних коливань, підготовку й фільтрацію записів, частотні та часові методи визначення модальних параметрів. Особливу увагу приділено інженерній інтерпретації частотних змін і форм коливань.

Третій розділ присвячено лабораторному дослідженню сталеві балки довжиною 4,0 м. Визначено її геометричні та масові характеристики, виконано статичні випробування навантаженнями 1, 5 та 10 кг. Фактичну згинальну жорсткість балки визначено двома незалежними способами. Окремо проведено експеримент для визначення динамічної жорсткості балки при імпульсному збудженні.

Розбіжність статичної і динамічної оцінок жорсткості близько 0,94 % підтверджує їх узгодженість для дослідженої лабораторної моделі та обґрунтованість прийнятої інтерпретації в межах виконаного експерименту.

У четвертому розділі сформовано методику натурного імпульсного випробування. Вона включає створення або уточнення МСЕ-моделі, попередній модальний аналіз, вибір точок прикладання імпульсу та розміщення датчиків, відносно тарування каналів, виконання випробувань, оброблення віброграм та формування висновку. Проведена перевірка працездатності методики натурного імпульсного випробування на трьох реальних мостах в Україні.

Загалом результати викладено логічно. Висновки відповідають змісту проведених досліджень, а запропонована методика доведена до рівня інженерного застосування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в такому:

1. Уперше для задач натурного імпульсного випробування мостів сформовано узгоджену методичну послідовність, яка пов'язує математичний опис збудження, зареєстрований відгук, алгоритми камерального опрацювання й діагностичну інтерпретацію.

2. Удосконалено метод визначення технічного стану елементів прогонової будови завдяки використанню нормалізованих форм коливань для просторового аналізу поряд із визначенням власних частот.

3. Набули подальшого розвитку положення щодо вибору параметрів реального імпульсного збудження, реперної схеми вимірювань та використання різних типів вимірювальних каналів.

4. На лабораторній моделі балки експериментально підтверджено чутливість частотного відгуку до локальної зміни масово-інерційного стану та можливість уточнення фактичної жорсткості за модальними параметрами.

Практичне значення отриманих результатів

Запропонована методика може використовуватися під час поглибленого обстеження, динамічного випробування, перевірки розрахункової моделі та формування базових параметрів для подальшого моніторингу мосту. Практичними результатами є обґрунтування схеми натурних робіт, рекомендації щодо імпульсного збудження, алгоритм оброблення записів і підхід до спільного аналізу частот та форм коливань.

Результати використані на трьох натурних об'єктах, покладено в основу МР В.2.3-37641918-944:2024 та впроваджено в освітній процес. Наявність довідок від організацій, що безпосередньо виконують або замовляють обстеження, підтверджує виробничу спрямованість роботи.

Повнота відображення дисертаційної роботи в опублікованих працях

За темою дисертації опубліковано 7 статей, у яких відображено основні наукові результати, 3 додаткові наукові праці та 7 публікацій апробаційного характеру. У публікаціях представлено аналіз методів динамічних випробувань, імпульсне збудження, модальне контролювання, практичні випробування та питання технічного стану мостового господарства. Повнота оприлюднення є достатньою.

Особистий внесок здобувача

Основні результати, винесені на захист, отримано здобувачем особисто або за його безпосередньої участі. Автору належать аналіз методів імпульсних випробувань, планування і проведення експериментів, камеральне опрацювання

записів, зіставлення з розрахунковими моделями, узагальнення результатів натурної апробації та формування методичних положень. Особистий внесок у спільні публікації конкретизовано.

Поставлене наукове завдання виконано на належному рівні. Здобувач продемонстрував володіння методологією інженерного дослідження конструкцій: сформував розрахункові передумови, провів незалежні статичні й динамічні перевірки лабораторної моделі, організував натурну апробацію та пов'язав модальні результати з МСЕ-моделями й матеріалами обстеження.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи

1. Натурна верифікація підтверджує працездатність методики для досліджених балкових і плитних розрізних та нерозрізних систем. Доцільно чітко відмежувати цей доказовий домен від потенційного застосування до рамних, аркових і вантових мостів, де модальний склад, просторовість і спосіб введення імпульсу можуть вимагати іншої схеми випробування.

2. Під час уточнення МСЕ-моделі доцільно чіткіше розмежувати параметри, зміна яких підтверджується матеріалами обстеження, та параметри, що коригуються лише для забезпечення збіжності модальних характеристик. Це дало б змогу зменшити ризик формального узгодження моделі з експериментом за рахунок фізично недостатньо обґрунтованих змін.

3. У натурній реалізації контроль імпульсу здійснюється через масу та висоту скидання, тоді як фактична форма контактної сили не реєструється. Доцільно оцінити вплив деформативності мішка або прокладки та покриття на спектр збудження, а також визначити випадки, коли виправдане пряме вимірювання сили чи тривалості контакту.

4. Оцінене за результатами коригування МСЕ-моделі зниження жорсткості на 15–20 % слід трактувати як ефективну зміну модельного параметра, що може узагальнювати вплив тріщин, спільної роботи плити, стану опорних частин і граничних умов. Для підвищення обґрунтованості локалізації

доцільно подати результати аналізу чутливості форм коливань до окремої зміни параметрів надпорних і суміжних ділянок.

5. Ретроспективне зниження власних частот приблизно на 3 % потребує окремого оцінювання чутливості результату до температури конструкції, змін постійної маси та умов опирання. Без такого аналізу цей показник доцільно характеризувати як виявлену динамічну зміну, а не як однозначно встановлену втрату жорсткості.

6. Доведена чутливість стосується зміни загального масово-жорсткісного стану та просторової роботи. Межу виявлення малих локальних дефектів окремої арматури, стиків або зварних з'єднань не встановлено; це слід прямо зазначити, щоб не ототожнювати модальне контролювання з локальними методами неруйнівного контролю.

7. Хотілось би отримати пояснення, чому базовим варіантом імпульсного збудження є скидання на проїзну частину вантажу масою 100 кг з висоти 1,0 м та практично доцільним є використання щільно стягнутого мішка або сітки з окремими мішечками піску, а не прямокутного залізобетонного блоку на поверхню проїзної частини з верхнім додатковим шаром піску (наприклад).

Наведені зауваження конкретизують межі застосовності та умови відтворюваності методики; вони не спростовують основних отриманих результатів і загальної позитивної оцінки роботи.

Загальний висновок та оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Завгороднього Сергія Сергійовича є завершеним самостійним науковим дослідженням, присвяченим актуальному завданню вдосконалення методу визначення технічного стану прогонових будов мостів за результатами імпульсних випробувань. У роботі послідовно поєднано теоретичний опис імпульсного збудження, лабораторну перевірку, розрахунковий модальний аналіз та натурну апробацію на реальних мостових спорудах.

Автор продемонстрував належне володіння положеннями будівельної механіки, теорії коливань і методами експериментального дослідження мостових конструкцій. Запропонований підхід передбачає спільне використання власних частот, нормалізованих форм коливань, характеристик загасання, матеріалів обстеження та результатів уточнення скінченно-елементних моделей. Це дає змогу отримувати додаткову інструментальну інформацію про фактичну просторову роботу прогонової будови та виявляти зміни її масово-жорсткісного стану.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні узгодженої методичної послідовності натурного імпульсного випробування мостів, розвитку підходу до просторової інтерпретації модальних характеристик за нормалізованими формами коливань, а також в експериментальному обґрунтуванні параметрів імпульсного збудження і можливості застосування різних вимірювальних каналів. Лабораторні результати підтвердили узгодженість статичної та динамічної оцінок жорсткості дослідженої балки, а натурні випробування засвідчили практичну працездатність запропонованої методики.

Практична значущість дисертаційної роботи підтверджується апробацією методики на трьох натурних об'єктах, використанням одержаних результатів під час обстеження та випробування мостів, їх покладенням в основу МР В.2.3-37641918-944:2024 і впровадженням в освітній процес. Запропонований метод може застосовуватися як складова поглибленого обстеження, для перевірки та уточнення розрахункових моделей, формування базових динамічних параметрів і повторного контролювання стану споруд. При цьому в роботі обґрунтовано збережено комплексний підхід: результати імпульсного випробування не підмінюють матеріали обстеження та перевірний розрахунок, а доповнюють їх.

Висловлені у відгуку зауваження стосуються переважно уточнення меж застосовності, відтворюваності натурних випробувань і правил інженерної інтерпретації результатів. Вони мають дискусійний характер, визначають

напрями подальшого розвитку методу та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційного дослідження.

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні, має логічну структуру та послідовний виклад матеріалу. Отримані результати є науково обґрунтованими, мають практичне значення для розвитку методів обстеження, випробування і моніторингу автодорожніх мостів та свідчать про здатність здобувача самостійно розв'язувати складні науково-прикладні завдання у сфері будівництва та цивільної інженерії.

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю одержаних результатів, їх практичним значенням і повнотою оприлюднення дисертаційна робота та представлені до розгляду наукові публікації відповідають вимогам пунктів 6–9 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 від 12 січня 2022 року № 44, зі змінами.

З огляду на актуальність теми, наукову новизну одержаних результатів та їх практичну значущість Завгородній Сергій Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
декан дорожньо-будівельного факультету,
професор кафедри мостів, конструкцій і
будівельної механіки ім. В. О. Російського
Харківського національного
автомобільно-дорожнього університету



Сергій БУГАЄВСЬКИЙ

Підпис	Бугаєвський С.	8
		завіряю
Зав. канцелярією	Лес	
10	08	2022 р.

