

РЕЦЕНЗІЯ

доцента кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд
Національного транспортного університету, кандидата фізико-математичних наук,
доцента Євсейчика Юрія Борисовича
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 та її зв'язок із науковими
програмами, планами і темами**

Технічний стан прогонової будови визначається сукупністю її геометричних, жорсткісних, масових і дисипативних характеристик, а також умовами взаємодії між окремими елементами й опорними частинами. Накопичення дефектів, зміна жорсткості перерізів та умов обпирання відображаються в динамічній поведінці споруди, тому модальні параметри можуть бути важливим джерелом додаткової інформації про фактичну роботу мосту.

Наукова складність полягає в тому, що зареєстрована динамічна реакція є результатом сумісного впливу багатьох факторів. Однакова зміна власної частоти може бути зумовлена зміною жорсткості, маси, температури або граничних умов. Тому для діагностичного використання недостатньо лише визначити частотний пік — необхідно забезпечити відтворюване збудження, узгоджене опрацювання багатоканальних записів і просторову інтерпретацію власних форм.

Дисертація Завгороднього Сергія Сергійовича присвячена саме формуванню такого методичного зв'язку між імпульсною дією, динамічним відгуком, ідентифікацією модальних параметрів та оцінюванням технічного стану елементів прогонової будови. Це визначає актуальність обраної теми.



Роботу виконано відповідно до тематик науково-дослідних робіт Національного транспортного університету та ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури», зокрема НДР за договором від 21.11.2023 № 66-23, державний реєстраційний номер 0123U104686. Зв'язок із науковими програмами підтверджується також використанням результатів у практичних роботах і нормативно-методичному документі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Логіка дисертації відповідає послідовності розв'язання задач ідентифікації динамічної системи. Спочатку проаналізовано фізичні передумови та існуючі методи, далі сформовано математичний і алгоритмічний апарат, виконано контрольований лабораторний експеримент, після чого методику перенесено на натурні споруди.

У першому розділі показано роль власних частот, форм коливань і характеристик загасання під час оцінювання фактичної роботи мосту. Правильно наголошено, що власна частота є інтегральною характеристикою системи, тоді як форма коливань містить просторову інформацію й за наявності каліброваної моделі та даних обстеження дає змогу окреслити імовірні зони зміни жорсткісної роботи.

Другий розділ містить математичний опис імпульсного збудження скінченної тривалості та переходу системи до режиму вільних загасаючих коливань. Систематизовано частотні методи FDD і EFDD, часовий метод SSI та вейвлет-аналіз. Розкрито операції дискретизації, фільтрації, вибору робочого фрагмента й нормалізації ординат форм. Це формує необхідний зв'язок між фізичною моделлю та алгоритмічним визначенням параметрів.

У лабораторному експерименті отримано переконливу збіжність статичної та динамічної оцінок жорсткості балки. Значення першої частоти, визначені

різними вимірювальними каналами, відрізнялися не більше ніж на 0,36 %. Стійкість частотної оцінки зберігалася за зміни маси й висоти скидання ударного тіла. Контрольована локальна маса 600 г забезпечила відтворюване зниження першої частоти на 2,4–3,0 %.

Натурна частина підтвердила можливість застосування методики для криволінійних нерозрізних естакад і протяжної багатопрогової споруди. Для двох естакад на М-06 та мосту через р. Дністер визначено частоти, нормалізовані ординати форм і логарифмічні декременти. Результати зіставлено з МСЕмоделями та даними обстежень. Порівняння «СпектрУМ» з ARTeMIS Modal показало, що власні частоти відрізняються менш ніж на 1 %, а ординати першої форми практично збігаються; для другої форми є розбіжність близько 1,1 % та абсолютна вузлова різниця 0,007, для окремих ординат третьої — близько 3,1 % і 9,3 %, тоді як оцінки логарифмічного декременту відрізняються істотно.

Обґрунтованість висновків забезпечується взаємним підтвердженням теоретичних, розрахункових, лабораторних і натурних результатів. Автор не ототожнює окремий модальний параметр із технічним станом, а розглядає його в системі даних обстеження та розрахункового аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Науково обґрунтовано узгоджену схему натурального імпульсного випробування, в якій математичний опис збудження пов'язано з алгоритмами опрацювання коротких записів вільних коливань і подальшою інженерною інтерпретацією модальних параметрів.

2. Удосконалено метод визначення технічного стану елементів прогонової будови через використання просторового розподілу нормалізованих ординат власних форм поряд з інтегральною частотною оцінкою.

3. Експериментально обґрунтовано стійкість частотної ідентифікації за зміни параметрів імпульсу та підтверджено чутливість частотного відгуку до контрольованої локальної зміни масово-інерційного стану.

4. Підтверджено можливість використання тензометричних записів як джерела даних для модального аналізу та отримано кількісну узгодженість із незалежною акселерометричною системою.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблена методика дає змогу планувати натурні імпульсні випробування на основі попереднього модального аналізу, застосовувати реперну схему вимірювань, виконувати контроль якості зареєстрованих сигналів та переходити від окремих спектральних піків до просторової інтерпретації динамічної роботи споруди.

Практична завершеність підтверджується натурною апробацією на трьох спорудах, розробленням МР В.2.3-37641918-944:2024, впровадженням результатів під час обстеження і випробування мостів та використанням у навчальному процесі.

Повнота викладення основних положень дисертації у наукових публікаціях

Основні результати дослідження оприлюднено у 7 фахових наукових статтях. Ще 3 наукові праці висвітлюють пов'язані питання технічного стану та моніторингу мостів, а 7 публікацій мають апробаційний характер. Публікації відображають теоретичні передумови, методичні положення, результати натурних робіт і прикладні аспекти дослідження.

Особистий внесок здобувача та дотримання академічної доброчесності

полягає у систематизації способів збудження, розвитку схеми інженерної інтерпретації модальних параметрів, виконанні та опрацюванні лабораторних і натурних експериментів, зіставленні розрахункових та експериментальних форм коливань і підготовці методичних рекомендацій.

Поставлене наукове завдання виконано на належному рівні. Здобувач продемонстрував володіння методологією наукової діяльності, зокрема формалізацією динамічної системи, плануванням контрольованого експерименту, ідентифікацією модальних параметрів різними алгоритмами, перевіркою відтворюваності та зіставленням експериментальних і розрахункових результатів.

За результатами вивчення наданої дисертації та публікацій ознак порушення академічної доброчесності не встановлено; використані джерела ідентифіковано, а особистий внесок у спільні праці конкретизовано. Цей висновок стосується опрацьованих матеріалів і не замінює встановленої закладом процедури перевірки.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи

1. Оскільки однакова частотна зміна може бути наслідком зміни жорсткості, маси або умов обпирання, бажано формалізувати ієрархію перевірки конкуруючих гіпотез: які параметри фіксуються за результатами обстеження, які калібруються в МСЕ-моделі, а які залишаються неідентифікованими за наявним складом модальних даних.

2. Критерій МАС теоретично розглянуто на с. 97–98, проте його не реалізовано як наскрізний кількісний критерій зіставлення розрахункових і натурних форм. Доцільно було б подати МАС для ключових пар форм або обґрунтувати інший числовий показник, а також зазначити межі його інтерпретації з урахуванням розрідженої схеми вимірювань.

3. Для натурних об'єктів бажано подати кількісну оцінку повторюваності кожної ідентифікованої моди — стандартне відхилення, довірчий інтервал або

діапазон між реалізаціями — та відокремити вимірювальну варіативність від фактичної міжсерійної зміни.

4. Доцільно подати коротку матрицю вибору та меж застосовності FDD, EFDD, SSI і вейвлет-аналізу для наявних типів коротких записів післядії: які передумови кожного алгоритму виконуються, які порушуються та за якими контрольними критеріями результат визнається прийнятним. Ієрархію методів слід обґрунтувати даними, а не задавати наперед.

5. Істотна відмінність оцінок логарифмічного декременту, отриманих різними програмними засобами, потребує додаткового пояснення щодо вибору інтервалу післядії, чутливості до шуму та критеріїв відбракування. За наявного рівня узгодженості демпфування доцільно використовувати як допоміжну, а не визначальну діагностичну характеристику.

Висловлені зауваження мають дискусійний характер, визначають напрями подальшого розвитку модального контролювання і не ставлять під сумнів основні наукові результати дисертації.

Загальний висновок

Дисертація Завгороднього Сергія Сергійовича є завершеним дослідженням, у якому послідовно пов'язано фізичну модель імпульсного збудження, алгоритми ідентифікації коротких записів вільних коливань, лабораторну верифікацію та інженерну інтерпретацію модальних параметрів натурних мостових споруд.

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 підтверджену узгодженість фізичної моделі, алгоритмів ідентифікації та експериментальної верифікації Завгородній Сергій Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Рецензент,

доцент кафедри мостів, тунелів
та гідротехнічних споруд

Національного транспортного університету,
кандидат фізико-математичних наук, доцент



Юрій ЄВСЕЙЧИК

