

УДК 693.9

*Геннадій Талавіра
Тетяна Резник
Дмитро Новак*

**МОЖЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІБРОДІАГНОСТИКИ
МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ**

У статті розглянуті питання ефективності застосування вібродіагностики на мостових конструкціях. Здійснено аналіз пасивних і активних методів вібродіагностики та вказані основні недоліки та переваги даних методів.

В статье рассмотрены вопросы эффективности применения вибродиагностики на мостовых конструкциях. Осуществлен анализ пассивных и активных методов вибродиагностики и указаны основные недостатки и преимущества данных методов.

In the article the considered questions of efficiency of application of vibrodiagnostics are on bridge constructions. The analysis of passive and active methods of vibrodiagnostics and indicated basic defects and advantages of these methods are carried out.

Ключові слова: мостові конструкції, методи вібродіагностики.

Однією з головних цілей випробувань є отримання експериментальної інформації для уточнення розрахункової моделі конструкції. Прийнята в даний час система статичних випробувань залізничних мостів має такі основні недоліки:

при статичному навантаженні конструкцій результати вимірів не можуть відображати вплив постійної складової (маси елементів конструкції), оскільки немає надійної методики виміру залишкових деформацій або напруги від постійної складової навантажень;

більшість систем виміру прогину або переміщення, які застосовуються при статичних випробуваннях, належать до контактного типу, тобто потребують наявності вимірювальної бази і жорсткого зв'язку з нею, що важко забезпечити в вертикальному напрямку при великій висоті опор мосту, а в горизонтальному напрямку – при великій довжині прольоту.

© Талавіра Г.М., Резник Т.С., Новак Д.П., 2012

В цьому сенсі система динамічної діагностики (вібродіагностики) має такі переваги:

вона більш інформаційна, оскільки параметри коливань залежать і від маси елементів конструкції, тобто впливу постійної складової навантажень безпосередньо відображається на результатах вимірів;

вимірювання динамічних реакцій конструкції можна вести безконтактними вимірювальними системами інерційного типу, які не потребують наявності вимірювальної бази;

вібродіагностика базується на поєднанні розрахункових та експериментальних методів дослідження реакції на динамічну дію в низькочастотному діапазоні власних форм коливань [1].

В даний час у вібродіагностиці відомо декілька десятків різних способів навантаження, вимірів та обробки експериментальних даних. В загальному разі методи вібродіагностики можуть бути умовно розділені на пасивні і активні.

В методах пасивної вібродіагностики відсутня спеціальна система навантаження досліджуваної конструкції, а як режим навантаження використовується фонові дії технологічного характеру. Практичне використання таких методів опирається на випадкову дію рухомого навантаження, одиночного навантаження, вітру, сейсмічного навантаження і т.д. По суті всі види випадкової дії носять непостійний характер

По визначенню до залізничних мостів це означає, що в випадку дослідження параметрів динамічного відгуку під дією рухомого навантаження навіть при значному збільшенні часу спостереження і реєстрації параметрів реакції можливість отримання відповідних результатів залишається невисокою. Проблематичним є отримання стійких форм коливань і передаточних функцій параметрів реакції конструкції, оскільки параметри силової дії конструкції залишаються невідомими [4]. Залежно від способу реєстрації і обробки експериментальних даних характеристиками відгуку конструкції можуть виступати: частоти нижніх поясів коливань прогонових споруд, спектри потужності, величина добавки динамічного коефіцієнта і т.д. Співставлення результатів з даними розрахункової моделі конструкції носить відносний характер.

Методи активної вібродіагностики характеризується штучним додатком до конструкції споруди імпульсного або гармонічного (вібраційного) навантаження. Як окремий випадок може застосовуватися стохастичний процес навантаження, який має стабільні статичні характеристики (стаціонарний ергодичний процес).

Практичне використання імпульсного навантаження в активній вібродіагностиці здійснюється: прогоном одиночної колісної пари через спеціально створені нерівності, відтяжкою конструкції тросом через розмикаючу ланку, скиданням вантажу або ударом через практичну прокладку і т.д. При імпульсному навантаженні конструкції (через низьку тривалості дії) отримання стійких, стаціонарних коливань складно, що

призводить до необхідності багаторазових повторних навантажень. Залежно від способу реєстрації і обробки експериментальних даних характеристиками реакції конструкції можуть бути: частоти коливань нижчих поясів прогонових споруд, спектри потужності або відносних амплітуд, величина добавки динамічного коефіцієнта. Співставлення результатів з даними розрахункової моделі конструкції носить якісний характер.

Використання гармонічного навантаження в активній вібродіагностиці більш ефективно, але потребує застосування досить складних і дорогих віброзбудників, серед яких найвідоміші 2-вальні ексцентрикові вібромашини конструкції ЦНДІМК зі змінною частотою обертання, яка допускає сканування робочої частоти. Зусилля дії в них змінюється поступово, зміненням дебалансу ексцентриків. За кордоном замість механічних вібромашин широко застосовуються електросервогідравлічні віброзбудники, які дозволяють проводити навантаження і реєстрацію вимірюваних параметрів в режимі «керування експерименту», з використанням керівної ЕОМ. Основною особливістю вищевказаних збудників є їх стаціонарне базування, тобто необхідність їх жорсткого анкерного кріплення на експериментальній конструкції.

Загальними недоліками перерахованих методик є:

- неможливість дослідження взаємодії конструкції з ґрунтовим масивом;
- неможливість визначення передаточних функцій реакції конструкції від щодо входної дії, з повним урахуванням фазової складової.

Сучасні віброзбудники, які допускають як пряме, так і зворотне сканування робочої частоти, можна вважати сейсмівібратор типу СВ-5-150 російського виробництва, використання якого підвищує технологічність вібродіагностики залізничних мостів за рахунок значного скорочення обсягів підготовчих робіт [2]. Застосування сучасних інформаційних технологій управління експериментом, реєстрації і обробки експериментальних даних по реакції конструкції дозволяє отримати весь обсяг інформації у вигляді матриці передаточних функцій (амплітудно-фазочастотні характеристики (АФЧХ) динамічних прогинів в ключових точках прогонової споруди). Це дає можливість проводити кількісну оцінку і співставлення результатів з даними розрахункової кінцево-елементної моделі (МКЕ) конструкції, що дозволяє використовувати сучасні методи модельного аналізу. Висока мобільність і оперативність технології вібродіагностики базується на технічних і програмних засобах МКВК, які забезпечують його використання виключно в режимі «керування експерименту». Можливості МКВК дозволяють ефективно його використовувати для моніторингу великої кількості залізничних мостів і для вирішення складних дослідних завдань з діагностики унікальних об'єктів. На базі первинних дослідів для цілей моніторингу складається система об'єктно-орієнтованих баз даних (ООБД) по кожній конструкції, яка вміщує як традиційні форми звітних матеріалів, так і експериментальні дані

сертифікованих дослідів, які об'єктивно визначають стан моста на момент проведення дослідів (динамічний паспорт конструкції). У разі проведення повторної експрес-діагностики моста використовується раніше створена ООБД; при цьому час і вартість проведення робіт скорочується приблизно в 4 рази. Експрес-діагностика стає інструментальним засобом оцінки стану, який фіксує будь-які зміни характеристик конструкції та зниження впливу суб'єктивних факторів [3]. Застосування МКВК не потребує виводу мосту з експлуатації, для проведення навантаження і серії вимірів, необхідні лише перерви в русі тривалістю по 10-15 хв., всі підготовчі роботи виконуються до них.

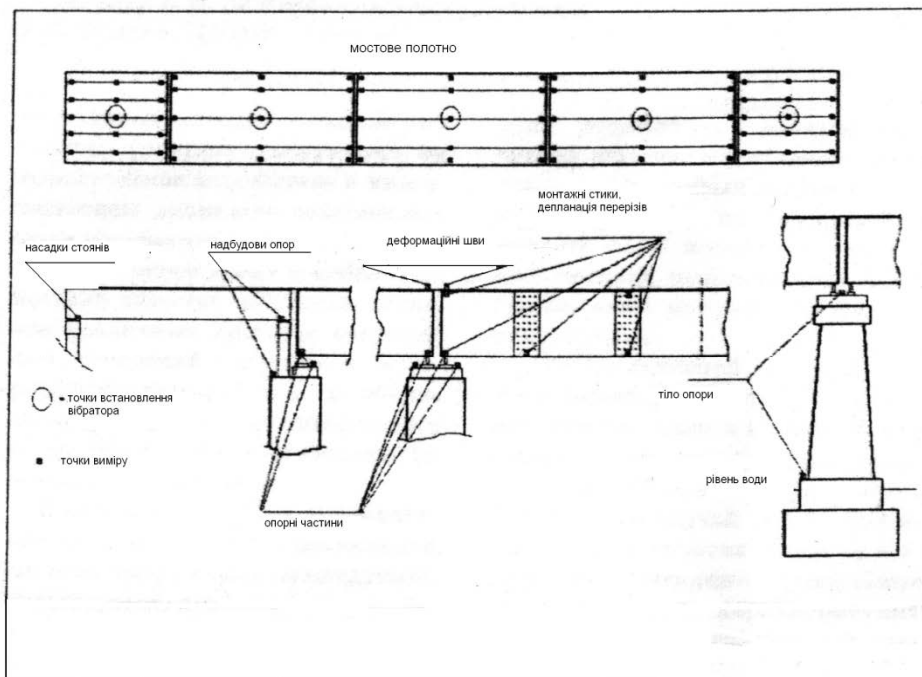


Рис. 1. Схема навантаження і вимірів при вібродіагностиці мосту

Вібродіагностику різних конструктивних елементів можна розглянути на рис.1. Загальна кількість вимірювальних точок на конструкції досягає декількох сотен. Час проведення цих робіт може складати 1-3 робочих дня, але принципи збору і обробки інформації в активній вібродіагностиці дозволяє складати загальну, інтегральну картину динамічного відгуку конструкції практично без втрат і викривлень, на відміну від методів пасивної вібродіагностики, де встановлення зв'язку між вимірами, які проведені в різний час, досить важко [5]. Тому в пасивній вібродіагностиці для отримання інтегральної картини реакцій повинна використовуватися

система вимірів, яка має декілька сотен вимірювальних каналів, що негативно відображається на мобільності і оперативності такої технології.

Для ефективнішого використання МКВК весь комплекс вимірювань проводиться в три етапи:

- по мостовому полотну;
- по нижньому поясу головних балок (ферм), насадкам і ригелям опор;
- для перевірки працездатності опорних частин, деформаційних швів і т.д.).

Виміри, проведені в мостовому полотні, дозволяють отримати таку інформацію:

- в багатопрольотному мосту – виявлення прольоту з найаномальнішими характеристиками;

- в прогоновій споруді – виявлення найслабших елементів;
- в балці (фермі) – виявлення, з точністю до $1/4L_p$, найслабшого перерізу;
- оцінка жорсткості і несучої здатності опор в вертикальному, горизонтальному повздовжньому і поперечних напрямках;
- оцінка працездатності опорних частин;
- взаємодія прогонових споруд і стоянів з підходами (насипами);
- оцінка несучої здатності основ опор.

Виміри, які були проведені по нижньому поясу балок (ферм), насадкам, ригелям і тілу опор, дозволяють отримати наступну інформацію:

- пряма оцінка жорсткості і несучої здатності опор на вертикальні навантаження, на згин опор вздовж і поперек осі моста;
- оцінка цілісності тіла опори і глибини занурювання паль в ростверк;
- згин і кручення насадок і ригелів опор.

Виміри, які були проведені по опорних частинах, деформаційних швах і тріщинах, дозволяють отримати таку інформацію:

- працездатність і межа заклинювання опорних частин;
- динамічне розкриття деформаційних швів;
- динамічна робота монтажних стиків;
- оцінка природи виникнення тріщин (силові або усадочні), прогноз амплітуди її розкриття в просторовій постановці.

Окрім перерахованих вимірів проводиться:

- оцінка депланації перерізів в прогонових конструкціях;
- оцінка стійкості стійок різного призначення;
- ймовірна оцінка динамічної дії на різні елементи конструкції.

Ще раз слід відмітити, що перераховані можливості відносяться до активної вібродіагностики. В разі застосування засобів пасивної вібродіагностики можливе отримання якісніших характеристик, а для збору кількісних характеристик, треба використовувати технічні і програмні засоби активної вібродіагностики, здатні проводити аналіз реакцій конструкції в передаточних функціях за вхідною динамічною дією.

Ефективність вібродіагностики залізничних мостів особливо висока у двох випадках:

при необхідності створення системи моніторинга інженерної інфраструктури. Періодична діагностика великої кількості об'єктів в цьому разі базується на інструментальній інформації;

на стадії проектних досліджень при реконструкції (ремонті) мостів. Тільки засобами вібродіагностики можливий суцільний (100%), інструментальний контроль всіх несучих конструкцій мосту, включаючи реєстрацію невидимих дефектів, а також опор і основ.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Цернант А.А.* Системология измерений параметров природно-технических систем (ПТС)/ 7-я Всес. конф. «Экспериментальные исследования инженерных сооружений (методы, приборы, оборудование, метрологическое обеспечение)», Сб. тр.– Сумы, 2001.
2. *Звягинцев А.Н.* Мобильный комплекс для динамической диагностики транспортных сооружений// Сб. науч. тр. ЦНИИС, Юбил. вып. 202.– М., ЦНИИС, 2005.
3. *Звягинцев А.Н.* Методологические аспекты технологии вибродиагностики мостов// Тр. ЦНИИС, вып. 202. – М., 2010.
4. *Бондарович Б.А., Переселенков Г.С., Звягинцев А.Н., Матвеев И.К.* Повышение надежности малых искусственных сооружений на железных дорогах// «Наука и техника в дорожной отрасли». – №1. – 2010.
5. Методические рекомендации по вибродиагностике железнодорожных мостов. Государственная служба дорожного хозяйства. – М, 2001.