



• © В.П. Редченко, докт. техн. наук (Дніпропетровський відділ ДерждорНДІ)

## ПРО ДИНАМІЧНИЙ ПАСПОРТ МОСТУ

*Анотація.* Сформульовано необхідність введення в практику експлуатації мостів динамічного паспорта мосту.

*Ключові слова:* міст, динамічний паспорт, технічний стан.

*Аннотация.* Сформулировано необходимость введения в практику эксплуатации мостов динамического паспорта моста.

*Ключевые слова:* мост, динамический паспорт, техническое состояние.

*Annotation.* Formulated the need for the introduction of the dynamic operation of bridges passport Bridge.

*Key words:* bridge, dynamic passport, technical condition.

### Вступ

Про необхідність ведення динамічного паспорта мосту провідні спеціалісти галузі говорять вже протягом декількох десятиліть. Прямі чи опосередковані вимоги щодо ведення динамічного паспорта мосту (як і інших споруд) є в ряді нормативних документів [1, 2], а також у рішенні Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України “Про стан забезпечення сейсмічної безпеки будівель і споруд та проблеми розвитку сейсмостійкого будівництва в Україні” від 03.04.2008 р та в положеннях Державної цільової соціальної програми розвитку цивільного захисту на 2009 – 2013 роки (Постанова КМУ №156 від 25.02.2009 р). На сьогодні за завданням Державного агентства “Укравтодор” розроблено форму динамічного паспорта для автодорожніх мостів, яка після обговорення повинна бути затверджена в кінці 2014 року. У цій статті викладено основні результати досліджень за вказаною темою та наведено розроблений проект динамічного паспорта моста для ознайомлення та отримання зауважень від широкого загалу спеціалістів.

### Динамічний паспорт споруди, огляд та аналіз технічної літератури

Обговорення необхідності динамічної паспортизації будівель та споруд, на які діє (постійно чи періодично) динамічне навантаження, відбувається протягом останніх 30 років досить енергійно. Ця тема освітлена в наукових роботах багатьох провідних вітчизняних вчених [3 – 7]. Ще більше тема

моніторингу технічного стану споруд за їх динамічними характеристиками наведена у зарубіжній технічній літературі, де вона фігурує під різними назвами (Operational Modal Analysis, Ambient Vibration Test, Dynamic Bridge Monitoring і т.п.), але зміст їх подібний темі “динамічного паспорта споруди” [8, 9]. Згадування про “динамічний паспорт” на початку підняття цієї теми у 80-х роках минулого століття пов’язувалося найчастіше з темою сейсмостійкості споруд, але поступово з розвитком практики динамічних випробувань споруд все більше пов’язується з темою моніторингу технічного стану споруд через їх динамічні характеристики [5, 6]. Тому у чинних нормативних документах [1], визначення технічного стану конструкції вже виступає рівнозначним завданням ведення динамічного паспорта споруди поруч із завданням оцінки його сейсмостійкості. У Російській Федерації прийняття державних норм [10], які регламентують складання динамічних паспортів будівель та споруд коментується як: “...Введение новых требований по обязательной оценке динамических характеристик зданий и сооружений для мониторинга их технического состояния, несомненно, является серьезным шагом на пути реализации требований Федерального закона №384-ФЗ “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений...””. При цьому основними динамічними характеристиками, які слід контролювати є параметри власних форм коливань і найдоцільніше щоб “...определение динамических характеристик осуществлялось “методом свободных колебаний...” [11].



Проведений пошук в технічній літературі не виявив прямих аналогів динамічного паспорта мосту. Знайдені форми динамічних паспортів споруд [10, 12] суттєво різняться між собою, що закономірно так, як залежать від типу споруди та характеру її динамічного навантаження.

За термінологією, яка наведена у вітчизняних нормах [1] "...Паспорт динамічний майданчика будівництва, будівлі, споруди – документ, що засвідчує відповідь (відгук) об'єкта на механічну дію у момент спостережень...". За цими нормами "...Динамічна паспортизація передбачає наступні види робіт:

- визначення реакції будівель на спеціальні динамічні дії;
- визначення частот, форм власних коливань будівель і декрементів коливань;
- формування динамічного паспорта будівлі на основі періодичних динамічних обстежень..."

Узагальнюючи опрацьовану інформацію можна зробити висновок, що динамічний паспорт повинен містити інформацію, яка дозволяла б визначати реакції конструкцій на динамічне навантаження та давати оцінку щодо змін технічного стану споруди. Інформацію про реакцію конструкції на динамічне навантаження можна отримати двома шляхами: прямими замірами та розрахунково спочатку побудувавши модель за даними випробувань. Для мостів пропонується використати обидва ці шляхи. Для визначення реакції конструкцій від транспорту виконувати прямі заміри та визначати динамічний коефіцієнт як функцію від швидкості руху транспорту [13], а для моделювання та контролю технічного стану визначати параметри власних форм коливань за результатами динамічних випробувань [14].

## Проект форми динамічного паспорта мосту

### 1. Загальні положення

В обов'язковому порядку динамічний паспорт складається для всіх мостів, які мають прогонові будови довжиною більше ніж 35,0 м, а також для всіх мостів, які знаходяться в районах із сейсмічністю 7 балів і більше та мають прогонові будови довжиною більше ніж 18 м. Для мостів зі складним характером динамічної роботи (висячі, вантові, з великорозмірними просторовими конструкціями та ін.) може бути складено паспорт за спеціально розробленою формою, але з врахуванням форм даного паспорта.

Паспорт складається спеціалізованою організацією, яка може проводити динамічні випробування мостів. Початково паспорт складається при введенні мосту в експлуатацію, а згодом заповнюється регулярно з періодичністю у 5 років або ж позачергово після землетрусу чи інших непередбачених силових впливів.

Метою робіт зі складання та ведення динамічного паспорта моста є періодична переоцінка

технічного стану мосту у зв'язку з його роботою на динамічні навантаження.

### 2. Форма динамічного паспорта

Паспорт складається із 4-х розділів, в які згруповано відповідні таблиці. Нижче наведено назви розділів з короткими поясненнями.

#### Розділ 1. Динамічні навантаження на міст

Розділ містить три таблиці, в яких наводиться інформація про динамічні навантаження які діють постійно чи можуть діяти періодично на міст. У Таблиці 1 відображено дію транспорту, що виражається через динамічний коефіцієнт, який визначається випробуванням для кожної прогонової будови мосту [13]. Для районів із сейсмічністю більше ніж 6 балів наводяться дані про сейсмічність майданчика мосту – ці дані містяться у Таблиці 2. У Таблиці 3 наведено інформацію про інші динамічні навантаження, до яких відносяться вітрові навантаження, дія гідроагрегатів, інших механізмів та обладнання, мікросейсмічні впливи та ін.

#### Розділ 2. Характеристики власних форм коливань прогонових будов мосту

Розділ поділено на підрозділи за кількістю прогонових будов. У кожному підрозділі є по 4-и таблиці (№ 4 – 7). У таблицях розділу наведено інформацію по кожній прогоновій будові мосту про параметри їх власних форм коливань, які визначені за результатами випробувань. У Таблиці 4 зібрані основні дані про результати випробувань (схема розміщення датчиків, віброграми коливань та графіки амплітудного і фазового спектрів). Кількість таблиць за № 4 при необхідності може бути декілька – за кількістю характерних експериментів. У Таблиці 5 наведені частоти та логарифмічні декременти власних форм коливань, які визначені за результатами випробувань. У Таблиці 6 надано дані з нормалізованими ординатами власних форм коливань: схема характерних точок конструкції та ординати власної форми коливань у цих точках. Кількість таблиць за № 6 відповідає кількості визначених власних форм коливань. Таблиця 7 дає картину зміни параметрів власних форм коливань прогонової будови у порівнянні зі всіма попередніми оцінюваннями.

#### Розділ 3. Особливості роботи мосту на динамічні навантаження

Розділ відведено для запису висновків щодо результатів аналізу роботи мосту на динамічні навантаження (зміни в параметрах власних форм коливань та їх причини, необхідність обмеження швидкості руху транспорту, оцінка сейсмостійкості, відповідність параметрів коливань нормам, рівень стійкості до вітрового навантаження і т.п.).

#### Розділ 4. Рекомендації

Розділ заповнюється в разі потреби проведення певних заходів, які пов'язані з відхиленнями нормальної роботи мосту на динамічні навантаження.

На **рис. 1** наведений приклад заповнення динамічного паспорта мосту.



**Розділ 1. ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ НА МІСТ**

**Таблиця 1. Від транспорту (динамічний коефіцієнт)**

Номер прогнаної будови	Динамічний коефіцієнт за проектом	Дата випробувань та стан дорожнього покриття	Формула динамічного коефіцієнту за результатами випробувань виду: $(1 + \mu) = 1 + a + b \cdot v$ , де $v$ – швидкість руху (М/с), $a$ та $b$ – постійні. $(1 + \mu) = 1 + 0,08 + 0,0143v$
1-2	1,09	01.01.2013 р. асфальтобетонне покриття має вибони глибиною до 3см, наявні тріщини над деформаційними швами	

**Таблиця 2. Сейсмічність майданчика**

За проектом	За чинними нормами	З врахуванням типу ґрунтів

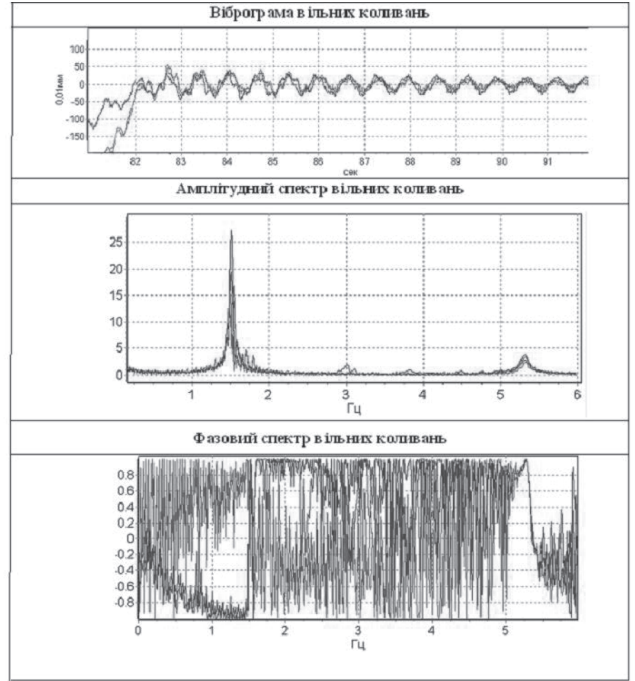
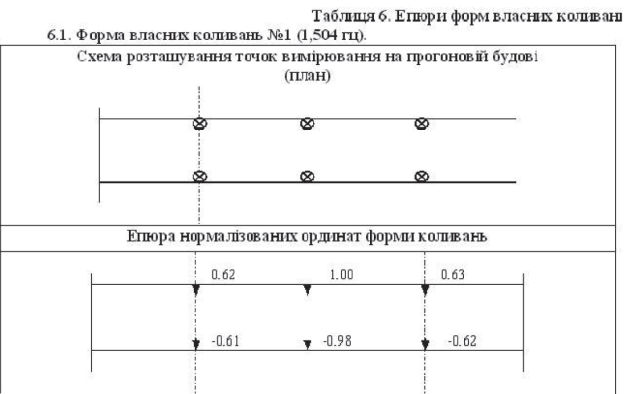
**Таблиця 3. Інші динамічні навантаження**

Тип навантаження	Характеристика та зона прикладання навантаження	Параметри відгуку конструкції

**Розділ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЛАСНИХ ФОРМ КОЛИВАНЬ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТУ**

**2.1. Прогнова будова 1-2**

**4.1. Експеримент №1.**

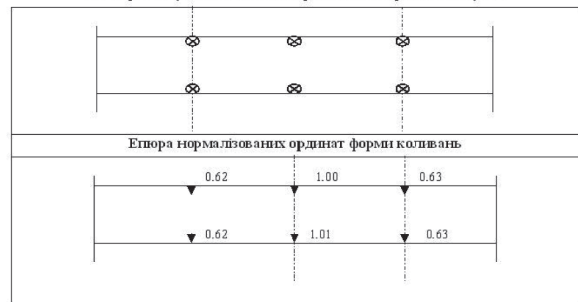


**Таблиця 5. Параметри власних форм коливань**

Номер форми	Характеристика форми коливань	Частота, Гц	Логарифмічний декремент
01.01.2013 р. Пасмурно, температура повітря вранці +12°, на час випробувань +18° (дата випробувань, погодні умови)			
1	1-а балкова форма зі скручуванням поперечника	1,504	0,037
2	1-а балкова форма без скручування поперечника	1,530	0,035
3	2-а балкова форма зі скручуванням поперечника	4,97	0,042
4	2-а балкова форма, без скручування поперечника	5,31	0,048

**6.2. Форма власних коливань №2 (1,54 Гц).**

Схема розташування точок вимірювання на прогновій будові



**Таблиця 7. Моніторинг параметрів власних форм коливань**

Дата випробувань, погодні умови	Номер власної форми	Частота, Гц	Логарифмічний декремент	Характерні ординати форми

**Розділ 3. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ МОСТУ НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ**

**Розділ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ**

**Рис. 1. Зразок заповнення динамічного паспорту мосту**

**Дискусія**

Насамперед щодо питання про необхідність ведення динамічного паспорту мосту. Для мостів у сейсмічних зонах це є вимогою державних будівельних норм [1] тому закон треба виконувати, а не дискутувати. Щодо інших мостів, то, як уже говорилося, динамічний паспорт повинен бути основою для моніторингу технічного стану мосту. Декілька думок щодо

обґрунтування. Логіка діагностування єдина незалежно від об'єкта діагностування, тому найпростіше звернутися до порівняння. Коли людина захворіла, однією з найперших діагностичних процедур є вимірювання температури. Температура тіла – це той інтегральний показник, який вказує на загальний стан людини. Так само частота власних коливань конструкції є інтегральним показником її загального



технічного стану. Як і за вимірюванням температури тіла лікар не поставить остаточного діагнозу, так і за параметрами власних коливань не можна остаточо визначити стан конструкції, але це є найефективніший метод щоб визначити його зміни. Людина йде до лікаря, бо сама відчуває хворобу, початок та розвиток “хвороби” конструкції можна встановити контролюючи параметри власних форм коливань. Чому ж це досі не розповсюджений метод? Так само як при вимірюванні температури тіла потрібно було спочатку зробити термометр з точністю до десятих градуса, так і тут потрібно мати відповідні засоби, щоб визначити параметри власних форм з досить високою точністю. На теперішній час такі засоби вже з’явилися, отже потрібно починати їх застосовувати.

Друге питання для дискусії – для яких мостів необхідно складати динамічні паспорти. Якщо прийняти, що для всіх, то, зважаючи на загальну кількість мостів, це не буде виконано. Власне для мостів із малими прогонами динамічні фактори відіграють меншу роль, ніж для мостів із великими прогонами. Саме тому, для початку, ведення динамічного паспорта обов’язковим буде лише для мостів, які мають прогонові будови довжиною більше ніж 35 м. Таких мостів близько 2 % від загальної кількості, тому цілком реальним є складання динамічних паспортів для них всіх протягом 2 – 3 років навіть силами тільки “ДерждорНДІ”.

Зі змісту паспорта можна побачити, що контроль динамічних параметрів виконується лише для прогонних будов мосту, як для окремих конструкцій. Це пояснюється тим, що: по-перше, саме прогонові будови в переважній більшості визначають технічний стан мосту, а по-друге, динаміка опор менш досліджена (особливо у взаємодії з ґрунтом) і тут із введенням динамічного паспорта в практику експлуатації мостів є великі перспективи для подальшого розвитку нових наукових методів дослідження динаміки мостів.

### Висновки

Введення в практику експлуатації мостів динамічного паспорта мосту є виконанням прямих вказівок державних будівельних норм України. Затвердження проекту форми динамічного паспорта дозволить стандартизувати цей документ та забезпечити єдиний підхід при його заповненні. Вимоги щодо ведення цього документа сприятимуть удосконаленню методів діагностики технічного стану мостів та накопиченню інформації про динамічні характеристики мостів, що експлуатуються.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12-2006. – [Чинні з 2007-01-02]. – К.: Держбуд, 2006. – 85 с. – (Державні будівельні норми).
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування: ДБН В.2.3-6-2009. – [Чинні

з 2009-11-11]. – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 43 с. – (Державні будівельні норми).

3. Алказ В. Г. Мониторинг вариаций динамических параметров зданий и сооружений г. Кишинева / В. Г. Алказ, И. И. Илишев // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2008. – Вип.69. – С. 646-652.

4. Бугаевский Г. Н. Параметры динамической паспортизации / Г. Н. Бугаевский // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2008. – Вип.69. – С. 201-207.

5. Динамическая паспортизация и диагностика технического состояния зданий с новым виброактивным технологическим оборудованием / В. В. Кулябко, Е. М. Ермак, А. О. Исмаилов, А. В. Масловский // Промислове будівництво та інженерні споруди – К.: 2008. – Вип. 1. – С. 10-18.

6. Кущенко В. Н. Применение динамических испытаний для технической диагностики строительных конструкций укосных шахтных копров / В. Н. Кущенко // Дороги і мости: зб. наук. праць. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7. – Т. 1. – С. 348-357.

7. Немчинов Ю. И. Динамическая паспортизация сооружений как составная часть СНиПа / Ю. И. Немчинов, А. В. Кендзера, Г. Н. Бугаевский // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2004. – Вип. 60. – С. 193-198.

8. Andersen P. Automated Frequency Domain Decomposition for Operational Modal Analysis / P. Andersen, R. Brincker, N. Jacobsen // 25th International Modal Analysis Conference (IMAC): Procs. (Orlando, Florida, Feb. 19-22, 2007). – 2007. – P. 8.

9. Challenges in experimental vibration analysis for structural identification and corresponding engineering strategies / Zhang J., Prader J., Moon K. A. F. [and oth.] // International conference on experimental vibration analysis for civil engineering structures: Procs. (Wroclaw, Poland. Oct 14-16, 2009). – 2009. – P. 13-34.

10. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния ГОСТ Р 53778-2010 – М.: Стандартиформ, 2010. – 96 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).

11. Савин С. Н. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по ГОСТ Р 53778-2010 / С. Н. Савин, С. В. Демишин, И. В. Ситников // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7. – С. 33-39.

12. Типовой динамический паспорт гидротехнических сооружений электростанций и инструкция по его заполнению. – М.: “ЕЭС РОССИИ”, 1994. – 24 с.

13. Редченко В. П. Про обмеження швидкості руху на автодорожніх мостах та визначення фактичного динамічного коефіцієнту / В. П. Редченко // Автошляховик України. – К.: Грета, 2013. – №3. – С.41-48.

14. Рекомендації з визначення натурних динамічних характеристик автодорожніх мостів: РВ.3.1-218-03450778-777. – К.: Укравтодор, 2010. – 38 с. – (Відомчі норми Укравтодору).