

УДК 624.21:625.745.1

© Л. П. Боднар,  
© В. П. Редченко, докт. техн. наук (ДП «ДерждорНДІ»)  
DOI: 10.33868/0365-8392-2019-1-257-40-45

## ПРО ПОСІБНИК ДО НАЦІОНАЛЬНОГО СТАНДАРТУ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ

Larisa Bodnar; Redchenko Vasy, Doctor of Technical Sciences (PhD), (State Enterprise «M. P. Shulgin State Road Research Institute»)

### ON THE GUIDELINES TO THE NATIONAL STANDARD FOR DYNAMIC TESTING OF HIGHWAY BRIDGES

**Анотація.** Підтримання мостів у працездатному стані є важливим завданням для інженерів, яким доручена їх експлуатація. У вирішенні цього завдання головну роль відіграє своєчасне виявлення змін у технічному стані конструкції мосту та правильна їх інтерпретація. У цій роботі ми надаємо виконавцям динамічних випробувань автодорожніх мостів методичну допомогу з підготовки, проведення, опрацювання та аналізу даних цих випробувань, щоб визначити кількісні характеристики прогнотних будов і їх фактичну вантажопідйомність.

**Ключові слова:** динамічне випробування, динамічне навантаження, посібник, автодорожній міст, конструкція.

**Аннотация.** Поддержание мостов в работоспособном состоянии является важной задачей для инженеров, которым поручена их эксплуатация. В решении этой задачи главную роль играет своевременное выявление изменений в техническом состоянии конструкций моста и правильная их интерпретация. В этой работе мы предоставляем исполнителям динамических испытаний автодорожных мостов методическую помощь в подготовке, проведении, проработке и анализе данных этих испытаний, чтобы определить количественные характеристики пролетных строений и их фактическую грузоподъемность.

**Ключевые слова:** динамическое испытание, динамическая нагрузка, пособие, автодорожный мост, конструкция.

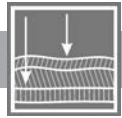
**Abstract.** Maintenance of bridges in an operational state is an important task for engineers who are commissioned to operate them. The main role in solving this issue is the timely detection of changes in the technical state of the bridge's structures and their correct interpretation – that is the process called technical diagnostics. Bridges are operated under dynamic load (mobile transport) and that is why dynamic testing of bridges is one of the main methods for diagnosing their technical state.

Only on the highways of state importance 74 bridges that are subject to mandatory dynamic testing in accordance with the requirements of the state standard DSTU 8748: 2017 are operated. During testing the bridges the reliable data on the work of bridge spans and their carrying capacity can be obtained precisely during their dynamic testing.

The purpose of the study is to provide the performers of dynamic tests of highway bridges with methodological support in preparing, conducting, developing and analyzing the data of these tests in order to determine the quantitative characteristics of bridge spans and their actual carrying capacity.

The adoption and implementation of the Guidelines for the national standard DSTU “Guidelines for conducting dynamic tests of highway bridges” will allow more wide and efficient application of dynamic tests within the scope of technical diagnostics of highway bridges. This will ensure their reliable and no-failure operation.

In January 1, 2019, DSTU 8748:2017 “Guidelines for conducting the dynamic tests of highway bridges” came into force. The regulations known in the world regarding the impact of vibration on building structures are of a general nature and do not take into account the dynamics specificity of the bridges, therefore the draft national standard is a pioneer targeted at an assessment of the technical state of bridges. The DSTU defines the following items: the scope of work, methods and algorithms for analyzing the results of dynamic tests and it also sets certain requirements that must be met by the performers. The DSTU was developed basing



on previously worked out methods for dynamic testing of bridges and taking into account the latest scientific research. The adoption and implementation of this standard allows more accurately determining the actual carrying capacity of highway bridges, as well as assigning the appropriate mode of their operation which will contribute to increasing the economic and social impact by improving the quality of work on determining the technical state of bridges and, accordingly, more justified preparation of the projects for their repair.

Fulfillment of the provisions of the DSTU requires from the performers the solid knowledge on the dynamic of structures and certain practical experience of carrying out the field works on the dynamic testing of bridges using the new techniques. In practice, each performer independently increases his knowledge base on conducting the dynamic tests mainly by studying the technical literature. The search for clarification regarding the specific methodology within the data available in technical literature is time consuming, and as regards certain newer methods, such data are not freely available. That is why the development of the Guidelines for DSTU is an important and urgent task.

**Keywords:** dynamic test, dynamic load, Guidelines, highway bridge, structure.

### Вступ

Підтримання мостів у працездатному стані є важливим завданням для інженерів, яким доручена їх експлуатація. У вирішенні цього завдання головну роль відіграє своєчасне виявлення змін у технічному стані конструкцій мосту та правильна їх інтерпретація – це той процес, який називають технічною діагностикою. Мости працюють на динамічне навантаження (рухомий транспорт) і саме тому динамічні випробування мостів є одним із головних методів діагностики їх технічного стану.

Тільки на автомобільних дорогах державного значення експлуатується 74 мости, які підлягають обов'язковому динамічному випробуванню згідно з вимогами державного стандарту ДСТУ 8748:2017 [1] (табл. 1). Під час випробування мостів достовірні дані щодо роботи прогонових будов та їх вантажопідйомності можна отримати саме за їх динамічних випробувань.

Від 1 січня 2019 року став чинним ДСТУ 8748:2017 «Настанова щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів» (далі – ДСТУ). Відомі у світі нормативні документи щодо впливу вібрації на будівельні конструкції [7, 8] є досить загального характеру та не враховують специфіку динаміки саме мостів, тому національний стандарт є піонерним з орієнтацією на оцінку технічного стану конструкцій мостів. Стандарт визначає: склад робіт, методики та алгоритми аналізу результатів динамічних випробувань, а також ставить певні вимоги, які обов'язково повинні бути виконані виконавцями. Стандарт розроблено, спираючись на раніше відпрацьовані методи динамічних випробувань мостів та із врахуванням останніх наукових досліджень [2–6]. Прийняття та впровадження в практику цього стандарту дає змогу більш точно визначати фактичну вантажопідйомність автодорожніх мостів, а також призначати відповідний

режим їх експлуатації, що сприятиме підвищенню економічного і соціального ефекту завдяки покращенню якості виконання робіт із визначення технічного стану мостів, забезпеченню їх безаварійної роботи та відповідно більш обґрунтованому складанню проектів їх ремонту.

Таблиця 1

Кількість мостів на автомобільних дорогах державного значення, що підлягають обов'язковому динамічному випробуванню згідно з ДСТУ 8748:2017

№ п/п	Область	Кількість мостів
1	Вінницька область	1
2	Волинська область	4
3	Дніпропетровська область	4
4	Донецька область	1
5	Закарпатська область	9
6	Запорізька область	1
7	Івано-Франківська область	4
8	Київська область	7
9	Львівська область	4
10	Миколаївська область	1
11	Одеська область	2
12	Полтавська область	1
13	Рівненська область	3
14	Сумська область	3
15	Харківська область	11
16	Херсонська область	1
17	Хмельницька область	1
18	Черкаська область	3
19	Чернівецька область	5
20	Чернігівська область	8
<b>Загальна кількість</b>		<b>74</b>

Виконання положень ДСТУ потребує від виконавців робіт ґрунтовних знань із динаміки споруд



та певного практичного досвіду проведення натурних робіт із динамічних випробувань мостів за новими методиками. На практиці кожен виконавець самостійно збільшує свій багаж знань щодо проведення динамічних випробувань переважно шляхом вивчення технічної літератури. Пошук роз'яснень щодо конкретної методики в широкому загалі технічної літератури є тривалим в часі, а для певних новітніх методик такі дані у вільному доступі взагалі відсутні. Саме тому розробка посібника до ДСТУ є важливим та актуальним завданням.

Мета роботи – надати виконавцям динамічних випробувань автодорожніх мостів методичну допомогу в підготовці, проведенні, опрацюванні та аналізі даних цих випробувань, щоб визначити кількісні характеристики прогонових будов і їх фактичну вантажопідйомність.

#### Основна частина

На завдання Укравтодору спеціалістами ДП «ДерждорНДІ» розроблено посібник до ДСТУ (далі – посібник). Посібник складено відповідно до змісту ДСТУ, а також у ньому наведені загальні роз'яснення щодо теоретичних основ динаміки мостів та наведені приклади виконання натурних динамічних випробувань автодорожніх мостів.

У розділі 1 посібника надано пояснення загальних положень практики динамічних випробувань і теоретичних основ динаміки мостів.

У першій частині розділу детально розглянуто роботи із виконання всіх етапів динамічних випробувань моста, а саме:

- підготовка до проведення випробувань;
- навантаження конструкції випробувальним навантаженням;
- реєстрація динамічних реакцій конструкції;
- опрацювання та аналіз отриманих даних.

Підготовка до проведення динамічних випробувань є дуже важливим етапом, на якому повинні бути закладені умови успішного проведення випробувань та отримання саме тієї попередні етапи підготовки до випробувань, а саме:

- вивчення технічної документації;
- обстеження споруди;
- виконання розрахунків;
- вибір системи вимірювання;
- складання програми робіт.

Головною ознакою динамічних випробувань є використання для збудження реакцій конструкції динамічного навантаження. Динамічне навантаження визначається тим, що, на відміну від статичного, воно викликає рух (деформацію) конструкції з прискоренням. У посібнику охарактеризовані навантаження зі змінною амплітудою та навантажен-

ня з постійною амплітудою, але зі змінним положенням на конструкції, розглянуто їх особливості.

Під час динамічних випробувань проводиться реєстрація реакцій конструкції на динамічне навантаження (динамічні реакції). На практиці це означає реєстрацію для певних точок конструкції певних параметрів: загальні та місцеві деформації (прогин та напруження), або ж похідних від деформації (швидкість та прискорення). У посібнику викладено основні вимоги та критерії оцінки системи вимірювання динамічної реакції мостової конструкції.

Закінчується огляд етапів динамічних випробувань викладенням теоретичних основ аналізу динамічних сигналів. Більш детально та конкретно ця тематика розкривається в наступних розділах посібника.

Друга частина першого розділу присвячена характеристикам, які описують конструкцію як динамічну систему. Детально розглянуто комплексну передаточну функцію та модальні характеристики. Особлива увага та деталізація надається модальним характеристикам, а саме: власним формам коливань, їх частотам та дисипативним характеристикам. У посібнику, окрім огляду вказаних характеристик, ще надані практичні поради з їх визначення та наведені приклади опрацювання віброграм.

У розділі 2 посібника розглянуто один із видів динамічних випробувань, а саме модальні контрольні випробування (або ж модальний контроль), який полягає у визначенні модальних параметрів конструкції (частот, логарифмічних декрементів та ординат власних форм коливань). Він орієнтований на моніторинг інтегральних показників технічного стану конструкції, а також дає змогу ідентифікувати конструкцію як динамічну систему.

Модальні параметри конструкції визначаються шляхом аналізу віброграм її вільних коливань. Саме тому перша частина цього розділу присвячена розгляду вільних коливань та практичним аспектам аналізу віброграм з метою визначення частот, логарифмічних декрементів та ординат власних форм коливань. У другій частині розділу розглянуто різні типи прогонових будов мостів та особливості їх власних форм коливань (рис. 1).

Наведені практичні приклади з визначення модальних параметрів прогонових будов шляхом проведення спектрального аналізу віброграм вільних коливань. Алгоритми спектрального аналізу дають змогу отримати найбільший ефект, якщо реалізувати їх програмно зі створенням зручного графічного інтерфейсу. Саме тому було створено програму “СпектрУМ”, яку в 2014 році Укравтодор прийняв та затвердив для викори-



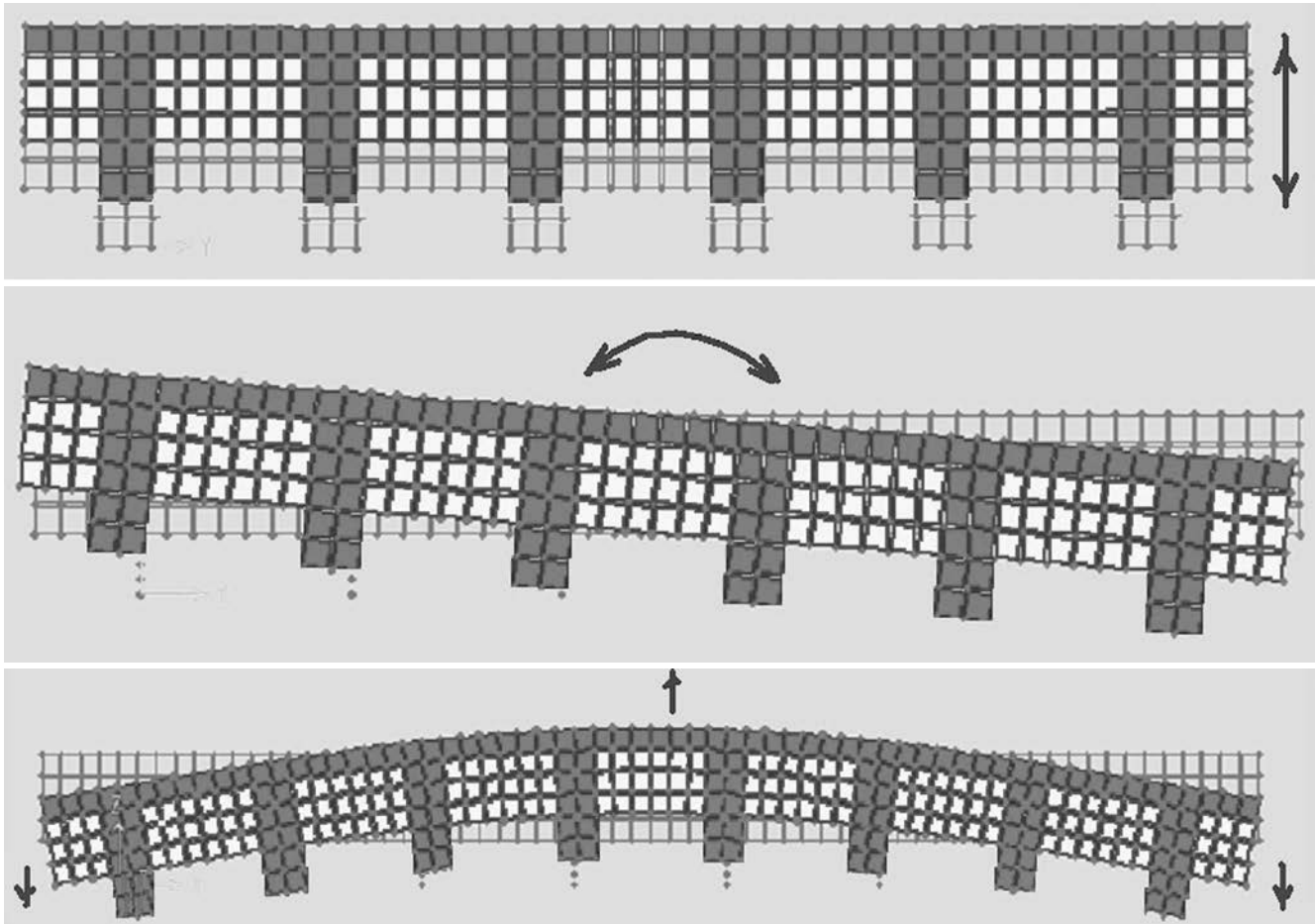
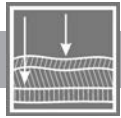


Рис. 1. Коливання поперечника прогонової будови з 8-ми балок за 3-ма першими власними формами коливань

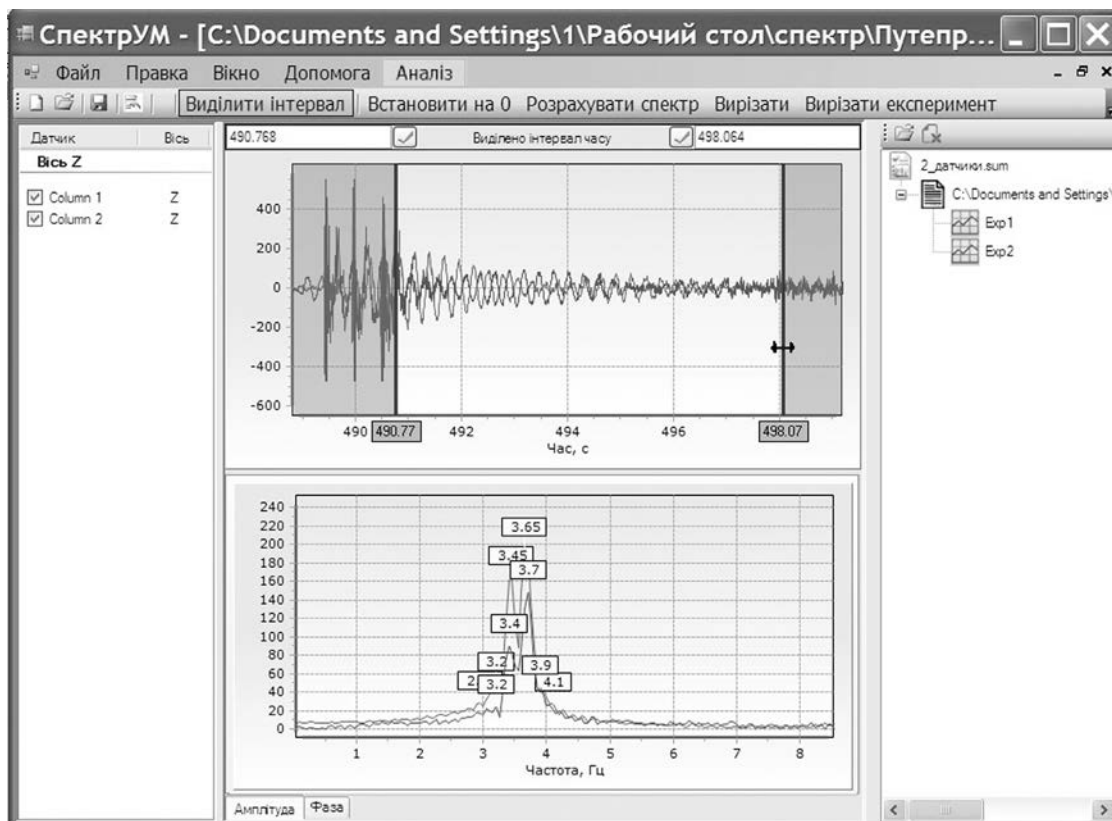
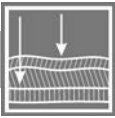


Рис. 2. Робоче вікно програми «СпектрУМ» з графіками віброграм та їх амплітудних спектрів



стання під час дослідження автодорожніх мостів України [6]. У розділі наведено загальну інформацію для початкового ознайомлення з цією програмою (рис. 2).

У кінці розділу даються пояснення та поради щодо практики натурних робіт проведення модального контролю. Детально викладено декілька прикладів таких випробувань реальних мостів із поясненням кожного етапу робіт: від підготовки та встановлення сейсмоприймачів (датчиків) (рис. 3), до результатів розрахунків (рис. 4).



Рис. 3. Сейсмоприймачі встановлені на проїзній частині шляхопроводу

У розділі 3 посібника подано пояснення щодо випробування прогонових будов мостів рухомим навантаженням. Метою випробувань рухомим навантаженням є визначення фактичної вантажопідйомності мосту та встановлення режиму його експлуатації. Цей вид динамічних випробувань полягає у визначенні характеристик відгуку конструкції на рухоме навантаження та дає змогу визначати такі характеристики, як лінії (поверхні) впливу, функцію динамічного коефіцієнта, натурну жорсткість та масу прогонової будови. Визначення кожної із зазначених характеристик розглянуто з наведенням прикладів аналізу реальних віброграм динамічних прогинів балок прогонових будов (рис. 5).

Наприкінці розділу 3 дається детальний опис натурних динамічних випробувань автодорожнього шляхопроводу за вказівками ДСТУ: починаючи від визначення у його складі прогонової будови з найменшою жорсткістю за результатами модального контролю всіх прогонових будов та закінчуючи визначенням кількісних характеристик цієї прогонової будови, які потрібні для визначення її фактичної вантажопідйомності.

Посібник добре ілюстрований та містить солідний список додаткової бібліографії.

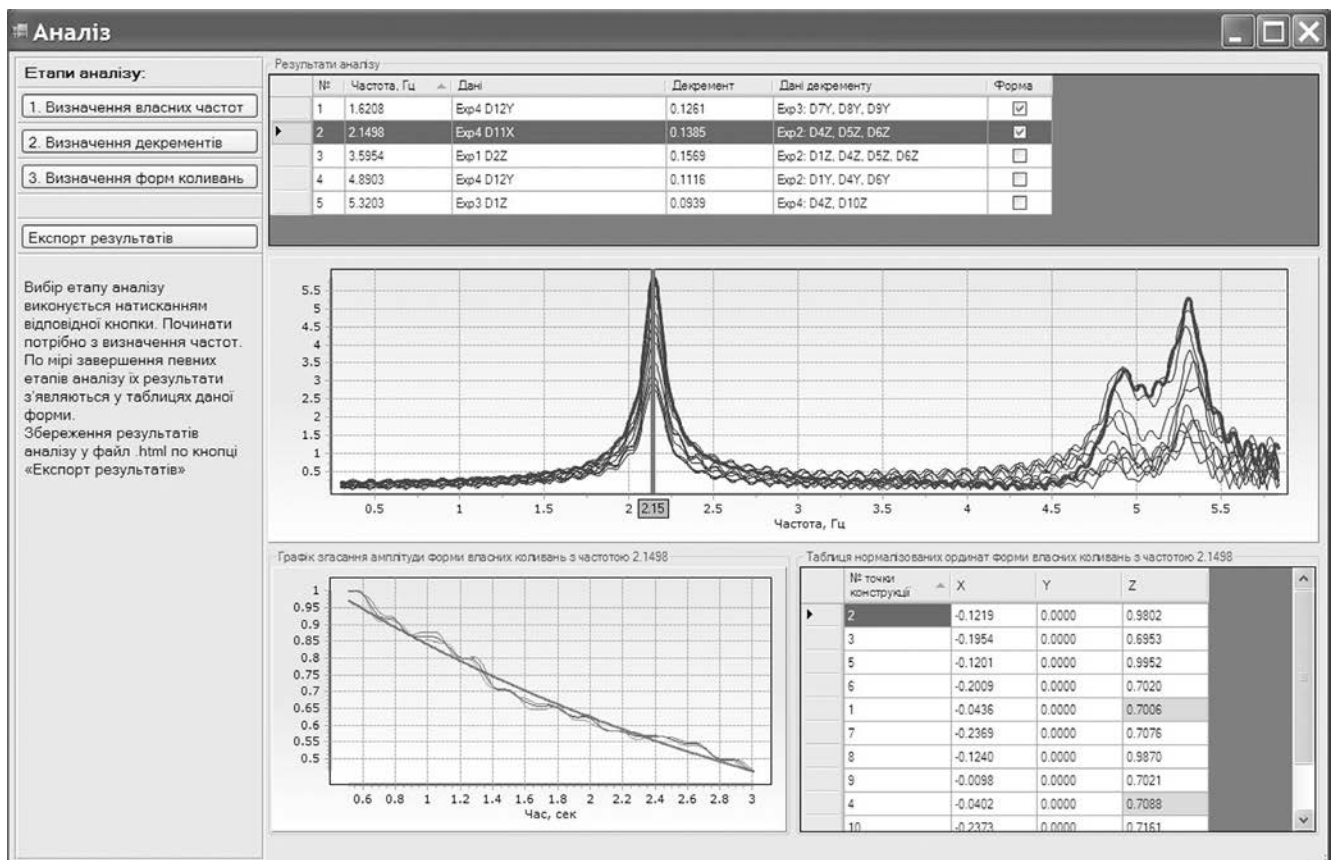


Рис. 4. Вікно програми «СпектрУМ» з результатами визначення модальних параметрів прогонової будови

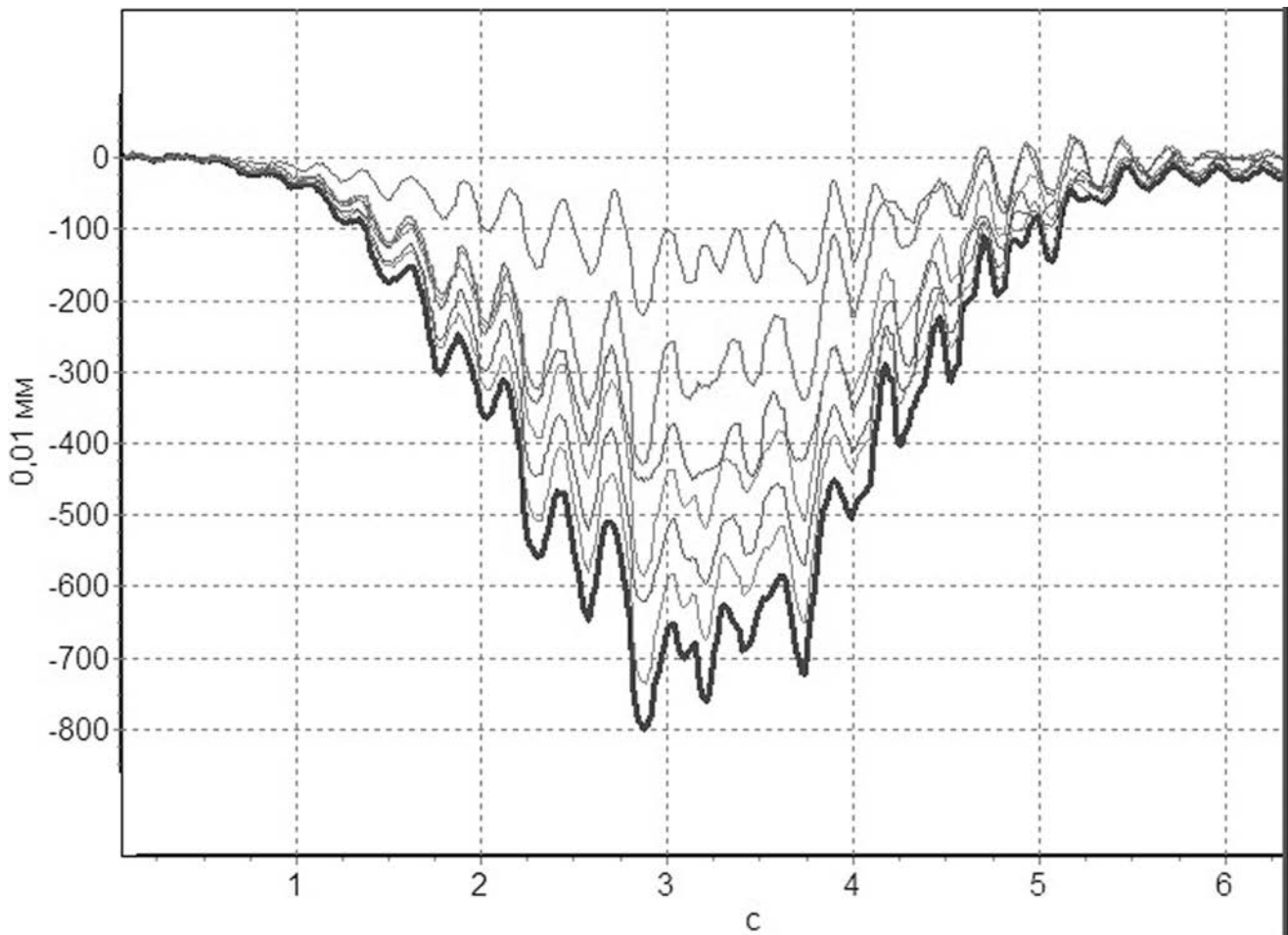
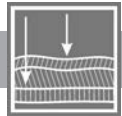


Рис. 5. Віброграми динамічних прогинів балок прогонової будови, які зареєстровані під час руху вантажівки

### Висновки

Прийняття та впровадження в практику посібника до національного стандарту ДСТУ «Настанова щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів» дасть змогу більш широко та якісно застосовувати динамічні випробування у практиці технічної діагностики автодорожніх мостів. Передусім це забезпечить їх надійну та безаварійну експлуатацію.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Настава щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів : ДСТУ 8748:2017. – [Чинний з 2019-01-01]. – Київ, 2017. – Державний Стандарт України.
2. Рекомендації щодо встановлення обмеження швидкості руху на автодорожніх мостах відповідно до їх фактичного технічного стану : Р В.2.3-03450778-858:2015. – Рекомендації Укравтодору, 2010.
3. Рекомендації з діагностики стану прогонових будов мостів за динамічною дією рухомого навантаження : Р В.2.3-218-03450778-711:2007. – [Чинний з 2007-11-21]. – Рекомендації Укравтодору, 2007.
4. Рекомендації з визначення натурних динамічних характеристик автодорожніх мостів : Р В.3.1-218-03450778-777:2010. – Рекомендації Укравтодору, 2010.
5. Редченко, В. П. Про обмеження швидкості руху на автодорожніх мостах та визначення фактичного динамічного коефіцієнту / В. П. Редченко // Автошляховик України. – 2013. – № 3. – С. 41–48.
6. Редченко, В. П. Аналіз результатів динамічних випробувань мостів з використанням програми «СпектрУМ» / В. П. Редченко //

Мости та тунелі. Теорія, дослідження та практика. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. – Вип. 6. – Дніпро, 2014. – С. 119–125.

7. British Standard : BS 5228.2:2009. Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites. – Part 2: Vibration. – BSI, 2008.
8. German Standard : DIN 4150@3:1999. Structural Vibration. – Part 3: Effects of vibration on structures. – German Institute for Standardisation, 1999.

### REFERENCES

1. State Standard of Ukraine. (2017). Guidelines for conducting dynamic tests of road bridges DSTU 8748: 2017. Kyiv.
2. Rekomendatsiyi Ukravtodoru. (2015). Recommendations on the setting of speed limits for road bridges in accordance with their actual technical condition: Р В.2.3-03450778-858:2015. Kyiv.
3. Rekomendatsiyi Ukravtodoru. (2007). Recommendations for diagnosing the condition of runway structures of bridges under the dynamic action of moving loads: Р В.2.3-218-03450778-711:2007. Kyiv.
4. Rekomendatsiyi Ukravtodoru. (2010). Recommendations for determining the dynamic characteristics of road bridges: Р В.3.1-218-03450778-777:2010. Kyiv.
5. Redchenko, V. P. (2013). About limitation of speed of traffic on road bridges and determination of actual dynamic coefficient. Kyiv, SUV of Ukraine, 3, 41–48.
6. Redchenko, V. P. (2014). Analysis of the results of dynamic tests of bridges using the «Spectrum» program. Dnipro, Bridges and tunnels, 6, 119–125.
7. BSI. (2008). British Standard: BS 5228.2:2009. Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites. Part 2: Vibration.
8. German Institute for Standardisation. (1999). German Standard: DIN 4150@3:1999. Structural Vibration Ion. Part 3: Effects of Vibration on Structures.