

УДК 624.21/8

## ВИБРОДИАГНОСТИКА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

*Е. В. Углова, Г. В. Еганян*

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

В настоящее время одной из актуальных проблем в транспортном строительстве является диагностика технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Снизить субъективный фактор результатов оценки технического состояния, повысить сроки эксплуатации конструкций, предотвратить возникновение аварийных ситуаций возможно благодаря передовым методам диагностики состояния сооружений. Наиболее эффективными и перспективными неразрушающими методами диагностики являются вибрационные методы.

В статье проведён анализ методов вибродиагностики, описываются их преимущества и недостатки. Дается оценка точности рассматриваемых методов и делается вывод об их применимости для внедрения в процесс диагностики технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах.

**Ключевые слова:** диагностика мостов, пассивная вибродиагностика, активная вибродиагностика, автодорожный мост.

## VIBRATION-BASED DIAGNOSTICS OF BRIDGE CONSTRUCTIONS ON HIGHWAYS

*E. V. Uglova, G. V. Eganyan*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Currently, one of the urgent problems in transport construction is technical condition diagnostics of bridge constructions on highways. It is possible to reduce the subjective factor of the results of technical condition assessment, increase the structures service life, and prevent emergencies due to advanced methods of diagnosing the state of structures. The most effective and promising non-destructive diagnostic methods are vibration methods.

The article analyzes the methods of vibration-based diagnostics, describes their advantages and disadvantages. The paper provides the assessment of the accuracy of the methods under consideration and a conclusion about their applicability for implementation in the process of diagnostics of the technical condition of bridge constructions on highways.

**Keywords:** bridge diagnostics, passive vibration-based diagnostics, active vibration-based diagnostics, road bridge

**Введение.** В настоящее время строительство и реконструкция автомобильных дорог сопровождаются увеличением интенсивности и скорости движения транспорта, а также обновлением используемых транспортных средств с увеличенными осевыми нагрузками. Такая обстановка затрудняет нормальную эксплуатацию искусственных сооружений, в частности автодорожных мостов, возведенных по устаревшим нормам проектирования. В результате на основных несущих конструкциях возникают новые дефекты и повреждения, не характерные для срока эксплуатации моста. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости более тщательного контроля за техническим состоянием автодорожных мостов, как наиболее важных и дорогостоящих элементов транспортной инфраструктуры.

Безопасность и безотказность транспортных сооружений во многом зависят от своевременной и качественной диагностики. Работы по обследованию мостов требуют высокой квалификации кадров, значительных финансовых и трудовых затрат. В условиях высокой хаотичности, когда сооружение испытывает влияние случайного набора внешних силовых воздействий и атмосферных явлений, а оценка технического состояния во многом подвержена субъективному мнению специалиста, проводившего обследование, гарантировать безопасность в течение всего времени между проверками становится затруднительно. Уменьшить интервал между проверками, снизить влияние субъективного фактора на результаты диагностики, обеспечив надёжность и экономическую эффективность эксплуатации транспортных сооружений, возможно с помощью внедрения в процесс обследования технологии вибродиагностики [1]. Цель данной статьи — на основе анализа основных методов вибрационной диагностики, их преимуществ и недостатков предложить наиболее перспективный путь решения проблемы повышения результативности обследования технического состояния мостов.

**Основные методы вибродиагностики мостов.** Суть методов вибродиагностики состоит в том, что при возникновении повреждений конструкций вследствие снижения жесткости отдельных элементов происходит перераспределение внутренних усилий, и основой любого метода вибродиагностики является установление связи между динамическими параметрами сооружения и требуемыми параметрами, например, его грузоподъемностью [2].

По способу создания (возбуждения) колебаний в элементах конструкций все методы вибрационной диагностики сооружений можно разделить на:

- активные;
- пассивные [2].

Методы активной вибродиагностики характеризуются искусственным приложением к конструкции сооружения импульсной или гармонической вибрационной нагрузки.

Чаще всего применяется такой вероятностный процесс нагружения, который обладает стабильными статическими характеристиками, например стационарный или эргодический процесс. Так, при испытаниях больших мостов нельзя обойтись без применения дорогостоящих устройств, способных создать достаточно мощные колебания, например сеймовибратора СВ-5-150 (рис. 1). Однако для небольших мостов чаще всего свободные колебания создают приложением импульсного воздействия с использованием искусственной неровности «порожка» при проезде испытательного автомобиля по сооружению [2–3].



Рис. 1. Мобильный (на базе автомобиля) сеймовибратор СВ-5-150

Можно выделить следующие преимущества метода активной вибродиагностики мостов:

- высокая точность определения значений модальных параметров исследуемого сооружения;
- позволяет установить реальную грузоподъемность сооружения;
- способствует определению динамических коэффициентов сооружения с высокой точностью.

Говоря о недостатках активного метода вибродиагностики, можно выделить следующие:

- требуется применять специальное оборудование для возбуждения колебаний;
- метод малоприменим для крупных мостов;
- необходимо приостановить движение по мосту на время проведения диагностики;
- наиболее финансово затратный метод, в отличие от пассивного метода;
- невозможно реализовать систему автоматизированного мониторинга [4].

Методы пассивной вибродиагностики — это те методы, при которых не применяется специальная система нагружения исследуемой конструкции, а в качестве режима нагружения используется случайное или регулярное фоновое воздействие природного или техногенного характера. С появлением метода операционного модального анализа стало возможным более продуктивно реализовать пассивную вибродиагностику. Суть этого метода заключается в определении параметров моста (мод колебаний, демпфирования, жесткости) на основе информации о его отклике под влиянием регулярных фоновых техногенных или природных воздействий. Эти воздействия ещё называют белым шумом (стационарный Гауссовский процесс по всей полосе частот) [1].

Можно выделить следующие преимущества метода пассивной вибродиагностики мостов:

- нет необходимости останавливать движение по мосту на время проведения диагностики;
- не требуется дорогостоящее оборудование для возбуждения колебаний;
- возможно реализовать не только мониторинг, но и диагностику состояния сооружений;
- возможно применить автоматизированный удаленный мониторинг с любой периодичностью.

Недостатки пассивного метода:

- более низкая точность в отличие от активного метода [4].

В настоящее время методы пассивной вибродиагностики мостов получили наибольшее развитие, так как считаются наиболее перспективными по двум главным причинам: низкая стоимость испытаний, нет необходимости в остановке движения. Однако регулярные фоновые воздействия техногенного или природного характера являются нестационарными, носят неэргодический характер. Это приводит к необходимости значительно увеличивать время проведения наблюдений за исследуемыми параметрами динамического отклика пролётного строения под воздействием проезжающих по нему транспортных средств [2]. Однако низкая стоимость аппаратной части и высокая энергоэффективность применяемого оборудования нивелируют эти недостатки.

Анализируя различия в описанных методах и сложившуюся ситуацию в процессе наблюдения за техническим состоянием автодорожных мостов, необходимо обратить внимание на такой метод диагностики, который бы обеспечивал максимальную автоматизацию процесса диагностики. Этим требованиям соответствует метод пассивной вибродиагностики.

Сегодня обследование мостовых сооружений на федеральных автомобильных дорогах методами вибродиагностики регламентируется отраслевым дорожным методическим документом [2–3, 5]. Аналогично в дальнем зарубежье имеется ряд подобных нормативных документов и руководств. Однако наличие этих нормативов не устанавливает единого общепринятого метода [6].

Таким образом, в настоящее время необходимо дальнейшее развитие методов постоянного вибрационного пассивного мониторинга технического состояния мостовых сооружений с целью нивелирования недостатков методики и повышения достоверности получаемых результатов [7–8].

**Заключение (выводы).** В статье проанализированы основные методы вибрационной диагностики мостов, их преимущества и недостатки. В ходе исследования авторами было выявлено, что наиболее перспективным путем решения проблемы повышения результативности обследования технического состояния мостов является внедрение в процесс обследования технологии пассивной вибродиагностики. Данный подход интересен прежде всего тем, что не требует остановки эксплуатации сооружения, при нем возможно проведение непрерывного мониторинга, а также он отличается низкой стоимостью применяемого оборудования. Однако в этом случае выходные данные в ходе диагностики являются результатом неизвестного внешнего воздействия, что затрудняет получение устойчивых форм колебаний и передаточных функций параметров отклика конструкции, вследствие чего снижается достоверность получаемых результатов. Вышеизложенные факты подтверждают необходимость в развитии и совершенствовании метода пассивной вибрационной диагностики автодорожных мостов.

#### **Библиографический список**

1. Афанасьев, В. С. Комплексная экспериментальная оценка динамических параметров пролетных строений балочных мостов: автореферат дис. ... канд. техн. наук / В. С. Афанасьев. — Москва, 2019. — 24 с.
2. Методические рекомендации по вибродиагностике автодорожных мостов : [утверждены распоряжением № 266-р Государственной службы дорожного хозяйства (Росавтодор) 07.08.2001]. — Москва : Информавтодор, 2001. — 26 с.
3. Рекомендации по выполнению приборных и инструментальных измерений при оценке технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах : отраслевой дорожный методический документ : [утвержден распоряжением № 1444-р Федерального дорожного агентства 29.07.2014]. — Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2011. — 168 с.
4. Овчинников, И. Г. Непрерывный удаленный мониторинг и диагностика технического состояния мостов / И. Г. Овчинников, А. П. Косауров, Д. И. Суров // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2019. — № 3 (29). — С. 16–24.
5. СП 274.1325800.2016. Мосты. Мониторинг технического состояния. Свод правил / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. — Москва : Стандартинформ, 2016. — 50 с.
6. Косауров, А. П. Метод пассивного мониторинга состояния мостовых сооружений с использованием слабых природных и техногенных воздействий : дисс. ... канд. техн. наук / А. П. Косауров. — Москва, 2018. — 140 с.
7. Особенности применения пассивного вибромониторинга для оценки технического состояния мостов / И. Г. Овчинников, А. П. Косауров, Д. И. Суров, Т. Н. Зверева // Актуальные



проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сб. статей междунауч.-практ. конференции. — Волгоград, 2019. — С. 351–359.

8. Афанасьев, В. С. Устранение влияния температурного воздействия на динамические параметры пролетных строений балочных мостов / В. С. Афанасьев // Транспортные сооружения. — 2019. — Т. 6. — № 2. — С. 9.

*Об авторах:*

**Углова Евгения Владимировна**, профессор кафедры «Автомобильные дороги» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, [uglova.ev@yandex.ru](mailto:uglova.ev@yandex.ru)

**Еганян Григорий Викторович**, аспирант кафедры «Автомобильные дороги» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [eganyangregoryv@gmail.com](mailto:eganyangregoryv@gmail.com)