

Косауров Артем Петрович

аспирант

ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет путей сообщения (МИИТ)»

г. Москва

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ МОСТОВ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

***Аннотация:** в статье проведен анализ положений современных нормативных документов и научных трудов по мониторингу состояния мостов. Предложен список рекомендаций для разработки системы постоянного мониторинга состояния мостов во время землетрясения. Сформулированы основные проблемы, препятствующие распространению систем мониторинга мостов.*

***Ключевые слова:** мосты, мониторинг, землетрясения, нормативные документы, колебания, микросейсмическое воздействие.*

Многие страны, такие как США, Япония, Китай, Тайвань, Корея, Мексика, Италия, Турция, Греция и Чили осуществляют на своей территории программы по мониторингу состояния мостов. Поскольку в гражданском строительстве изменения происходят медленно, то методика проведения такого мониторинга не менялась многие десятилетия, и обычно включала в себя визуальный осмотр, неразрушающее тестирование и отбор образцов материала конструкции [3–5; 10]. В тех случаях, когда применялось инструментальное наблюдение за реакциями сооружения на сейсмическое воздействие, целью обычно ставилось улучшение понимания поведения различных типов конструкций и материалов под действием динамической нагрузки и совершенствование нормативных документов по расчету сооружений на сейсмическую нагрузку [6]. Однако последние достижения в области беспроводных технологий, компьютерных технологий, появление новых типов датчиков и снижение их себестоимости позволило сместить акцент в сторону непрерывного мониторинга состояния сооружения.

Наличие установленных в достаточном количестве датчиков контроля вибрации сооружения позволяет не только быстро дать оценку его состояния после землетрясения, но и проверить принятую на этапе проектирования модель с использованием данных о реакциях сооружения на микросейсмическое воздействие, а также определить такие параметры сооружения как собственная частота колебания, коэффициент демпфирования и собственные формы колебания [6]. Однако проведение подобного анализа в значительной степени осложняется несколькими факторами: слабая нормативная база, отсутствие методов, позволявших бы точно определять место и степень повреждения произвольного моста, а также высокие требования к квалификации инженеров.

Исходя из проведенного анализа современных нормативных документов и опубликованных научных трудов автором предлагаются следующие рекомендации для разработки системы постоянного мониторинга состояния мостов во время землетрясения [1; 2; 7–9]:

1. Мониторинг сооружения во время землетрясений должен дополняться мониторингом колебаний, вызванных другими источниками: движение транспорта, ветровая нагрузка, пешеходная нагрузка, звуковое излучение, водяной поток, ледовая нагрузка и т. д. Это обусловлено тем, что он не позволяет проводить непрерывное наблюдение за состоянием сооружения.

2. Мониторинг состояния сооружений (МСС) должен включать в себя контроль состояния опорных устройств, деградации материала из которого они изготовлены.

3. МСС рекомендуется проводить на этапе строительства с целью определения безопасности проведения строительных работ.

4. МСС рекомендуется начинать после определения расчетных значений реакции сооружения.

5. Максимальный уровень шума в измерениях и требуемые доверительные границы должны быть получены из анализа чувствительности к ошибкам.

6. Данные используемые для калибровки модели моста следует проверять на наличие шумов и систематических ошибок измерения.

7. Калибровка и дальнейшая проверка модели должна проводиться двумя различными наборами данных.

8. Для подтверждения расчетной модели моста и проведения дальнейшего мониторинга необходимо следующее:

8.1. Учитывать влияние временных конструкция и дорожного покрытия.

8.2. Скорректировать параметры демпфирования в расчетной модели после анализа данных мониторинга сооружения.

8.3. Учитывать условия опирания.

8.4. Определить собственные частоты колебания опоры и основания.

8.5. Определить нелинейные параметры грунта.

8.6. Использование данных о реакции сооружения на микросейсмическое воздействие может давать неточные результаты из-за малых амплитуд. В случае отношения сигнал-шум меньше 3, в расчет должны вводиться корректировки или вместо этого проводятся испытания моста принудительным возбуждением.

9. Анализ состояния больших мостов следует проводить с использованием данных о их реакциях на микросейсмическое воздействие. Это обусловлено их слабой чувствительностью на местное возбуждение.

10. В зависимости от поставленной задачи расчет следует проводить во временной или частотной областях:

10.1. Коэффициенты демпфирования следует определять во временной области.

10.2. В случае значительной нелинейности и амплитудной зависимости анализ проводится во временной области.

10.3. Каждую форму колебаний следует рассматривать во временной области отдельно.

10.4. Определение собственных частот колебания системы следует проводить в области частот с применением фильтров (низкочастотный, высокочастотный и полосовой).

10.5. Для определения переходной функции рекомендуется использовать взаимные спектры, а не отношение спектров Фурье.

11. Для проведения оценки состояния сооружения стандартные значения реакций сооружения следует разделять на следующие категории:

11.1. Категория 1. Значения реакций сооружения в предельном состоянии.

11.2. Категория 2. Значения реакций сооружения для разных диапазонов состояния сооружения.

11.3. Категория 3. Расчетные максимальные значения реакций сооружения в безопасном для эксплуатации состоянии.

11.4. Категория 4. Более ранние данные о реакциях сооружения в схожих условиях.

12. При оценке состояния сооружения следует учитывать следующие факторы:

12.1. Неточность измерений.

12.2. Изменчивость параметров сооружения.

12.3. Расхождение между реальными и вычисленными параметрами сооружения.

13. В случае определения общей реакции сооружения следует избегать установки датчиков на элементы конструкции чувствительные к местным вибрациям.

14. Для оценки напряженно-деформированного состояния моста во время землетрясения необходимо вести запись колебаний основания и опоры моста для учета их взаимодействия. Мониторинг колебаний свободного поля следует вести на достаточном удалении от опор моста.

15. Системы мониторинга сооружения должна включать план действия на случай внештатной ситуации.

16. Мониторинг сооружения должен дополняться периодическими испытаниями принудительным возбуждением.

17. В общем случае любая система мониторинга состояния сооружения должна дополняться системой контроля состояния окружающей среды: температура, осадки и т. д.

18. Для правильного функционирования системы МСС должны быть разработаны сценарии повреждений, разрушений и деградации сооружения.

Создание постоянной системы мониторинга состояния сооружения является важным условием в обеспечении качественного обслуживания моста и его безопасной эксплуатации. Ее применение в перспективе позволит также снизить затраты на обследование сооружения, которые могут доходить до одного миллиона долларов (Бруклинский мост), и время его проведения.

Список литературы

1. Aktan A.E. Development of a model health monitoring guide for major bridges / A.E. Aktan, F.N. Catbas // Drexel intelligent infrastructure and transportation safety institute. – USA, 2003. – 284 p.
2. Benzoni G. Structural health monitoring of bridges with seismic response modification devices / G. Benzoni, N. Bonessio // Structural systems research project, Department of Structural Engineering. – University of California. – USA, 2013. – 215 p.
3. Bridge and other structures inspection and reporting. Subpart C – National Bridge Inspection Standards // Department of Transportation. – USA, 2014. – 40 p.
4. Chowdhury F.H. Application of different structural health monitoring system on bridges: an overview / F.H. Chowdhury, M.T. Raihan // IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-III. – Бангладеш, 2015. – 10 p.
5. Masahiro S. Bridge inspection standards in Japan and us / S. Masahiro // 29th US – Japan Bridge Engineering Workshop. – Japan, 2013. – 14 p.
6. Mehmet C. Seismic Monitoring of Structures and New Developments / C. Mehmet // Springer Environmental Science and Engineering. – 2013. – P. 37–84.
7. Mechanical vibration – Evaluation of measurement results from dynamic tests and investigations on bridges // International Standard ISO 18649:2004. – 2004. – 32 p.
8. Mechanical Vibration and shock – Guidelines for dynamic test and investigations on bridges and viaducts // International Standard ISO 14963:2003. – 2003. – 34 p.
9. Mufti A. Guidelines for structural health monitoring / A. Mufti // University of Manitoba. – ISIS. – Canada, 2001. – 127 p.
10. Underwater bridge inspection. Report №FHWA-NHI-10-027 // U.S. department of transportation. – USA, 2010. – 224 p.