

## МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

*Приведено описание модели аналитического комплекса “Bridge Dynamic Health Monitoring” для анализа и обработки записей ускорений колебаний пролетных строений мостов. Определение спектров ускорений, логарифмических декрементов затуханий, их сравнение с ранее полученными и эталонными данными позволяют произвести первичную оценку состояния конструкций и дают возможность прогнозировать необходимость детального инструментального обследования моста, остановки движения по нему.*

**Ключевые слова:** пролетное строение, колебания, спектр частот, логарифмический декремент, мониторинг

Необходимость периодического обследования технического состояния сооружений диктуется требованиями их безопасной эксплуатации. Особенно это относится к большим или сложным конструкциям, а также сооружениям, обеспечивающим жизнедеятельность. К таким сооружениям относятся железнодорожные и автодорожные мосты, в частности, большепролетные мосты и мосты, выход из строя которых приводит к длительному нарушению движения по данному направлению.

Проведение визуальных обследований может выявить только видимые повреждения. Для проведения таких обследований необходимо иметь удобный доступ ко всем несущим и конструктивным элементам сооружения, что иногда невозможно обеспечить, исходя из конструктивных особенностей сооружения.

Инструментальная оценка состояния мостовых сооружений связана с необходимостью проведения статических и динамических испытаний пролетного строения моста, что связано с остановкой движения по мосту на время проведения испытаний. В настоящее время все большую популярность приобретают альтернативные технологии постоянного мониторинга состояния сооружения. Это связано с развитием микроэлектроники, систем связи и появлением соответствующего программного обеспечения, что делает доступным разнообразные датчики и записывающие устройства. Наибольшую популярность приобрели датчики, записывающие ускорения колебаний. Однако даже самое эффективное и точное измерение колебаний само по себе не может быть основой для выводов о техническом состоянии пролетного строения. Для выявления изменений напряженно-деформированного состояния конструкций и локализации мест такого изменения необходимы определённые характерные параметры. Обработка этих параметров, а именно сравнение результатов записей с предыдущими и анализ возможных изменений должно быть автоматизировано.

В последние 10...15 лет для этих целей используются динамические методы зондирования [1-7], основанные на измерении периодов и логарифмических декрементов собственных колебаний зданий и сооружений. Для применения этих методов для мостовых переходов авторами в последние годы

была разработана концепция специальной базы данных. Выполненные эксперименты подтвердили эффективность этой концепции.

Предлагаемая модель аналитического комплекса, названная “Bridge Dynamic Health Monitoring”, состоит из трех основных модулей: 1-“Ввод исходных данных о мосте”, 2-“Ввод результатов обработки текущих измерений”, 3-“Сравнительная обработка и анализ”. На рис.1 дана структура предлагаемой базы. Модуль “Ввод исходных данных о мосте” состоит из 4-х разделов, в которые вводится вся информация о мостовом переходе. В этом блоке имеются разделы, в которые вводится информация о динамических характеристиках пролетного строения и опор, полученных теоретическим путем, данные первых натурных измерений, произведенных либо при пусковых испытаниях моста (если испытания были произведены), либо при открытии движения по мосту. Во втором случае предполагается, что измерения производятся без остановки движения соответствующими приборами, например JHG2 [8] или им подобными, не требующими специальных нагрузжений и испытаний. При этом в разделе “Схема расположения контрольных точек” вводятся схемы установки измерительных приборов с геометрическими привязками к конструкциям пролетного строения. В дальнейшем во время всех измерений, которые будут производиться, измерительные приборы должны будут размещены именно в этих точках.

В разделе “Эталонные характеристики” вводятся данные, полученные в результате обработки произведенных измерений. Производятся измерения ускорений колебаний пролетных строений в трех направлениях. На основе полученных данных производится построение спектров ускорений в соответствующих направлениях, вычисляются декременты затухания. Полученные результаты сравниваются с теоретическими и вводятся в данный раздел, после чего они становятся базовыми для дальнейшего анализа.

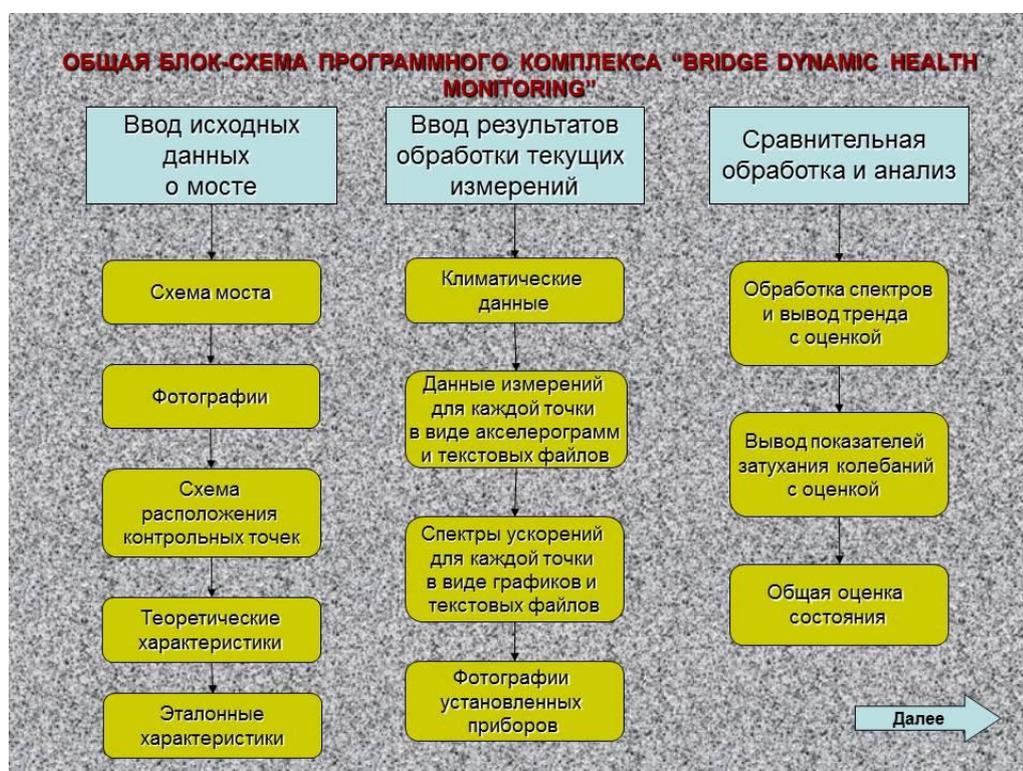


Рис. 1. Структурная организация базы “Bridge Dynamic Health Monitoring”

На рис. 2 приведен интерфейс блока ввода данных, полученных при измерениях.

**Рис. 2. Интерфейс блока ввода данных, полученных при измерениях**

После ввода данных производится их обработка, в результате которых автоматически получают спектры частот ускорений и вводятся данные по определению логарифмического декремента затухания, определенные для каждой контрольной точки. На рис. 3 приведен интерфейс раздела обработки данных.

В результате обработки данных получают спектры частот ускорений в графическом и текстовом форматах (текстовый формат принят “.txt”, что облегчает обработку в других программных комплексах при необходимости). Определение логарифмического декремента колебаний производится ручной подборкой участков записи колебаний, где наиболее выражен процесс затухания. При этом рекомендуется выбирать не менее 5 таких участков и получить в качестве результата осредненное значение полученных при обработке этих участков величин логарифмического декремента колебаний. Определение логарифмического декремента колебаний производится по известной из динамики сооружений формуле

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A}, \quad (1)$$

где  $A_0$  и  $A$  – амплитуды ускорений соответственно равен отношению амплитуд, отстоящих по времени на период или некоторое количество периодов,  $n$  – количество периодов, разделяющих измеренные амплитуды.

Как видно из рис. 3, разработанный комплекс предлагает возможность сравнения полученных при данном измерении результатов с таковыми, полученными при предшествующих измерениях, с эталонными измерениями и теоретическими характеристиками. Сравнение производится посредством построения трендов во времени значений частот основных тонов и соответственно вычисленных значений логарифмического декремента затуханий. При этом также производится количественная оценка обнаруженных отклонений. Для простоты работы оператора системы

количественная оценка возможных отклонений сведена к трем степеням, “хорошо”-когда отклонения незначительны (до 10%), “удовлетворительно”-когда отклонения находятся в пределах 10...25% и “неудовлетворительно”-когда отклонения превышают 25%. При этом практические рамки для степеней оценки состояния сооружения приведенные выше находятся в настоящее время в стадии изучения.

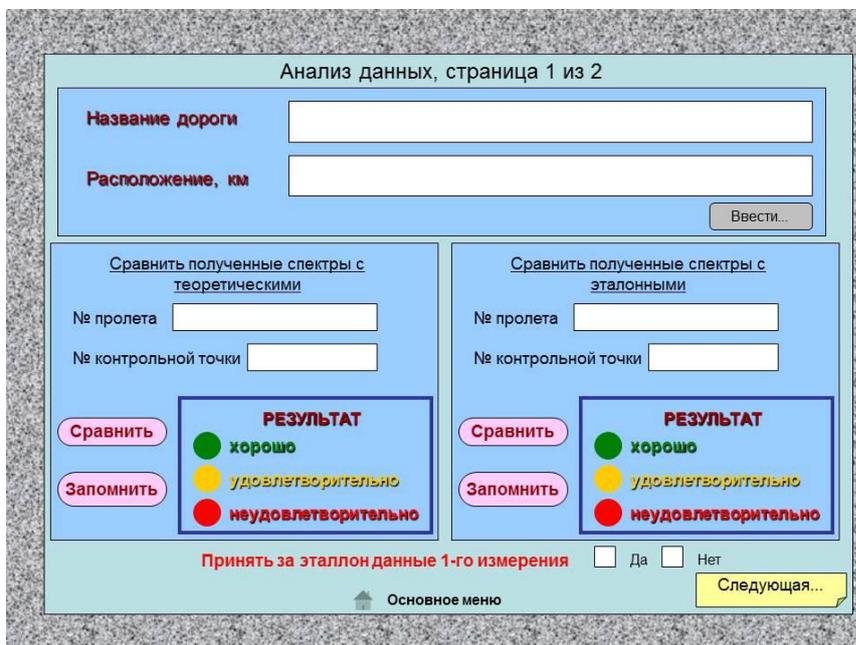


Рис. 3. Интерфейс раздела обработки данных

В целом, общая схема мониторинга сооружения представлена на рис. 4.

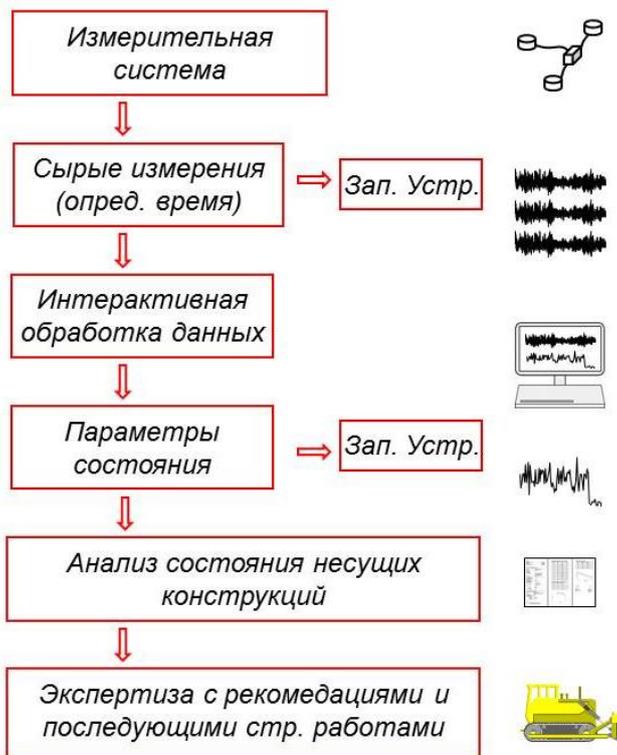


Рис. 4. Схема организации мониторинга сооружения с применением комплекса “Bridge Dynamic Health Monitoring”

Количественная оценка технического состояния пролетного строения находится в непосредственной зависимости от сложности сооружения. Наличие большого количества узлов, например, в многопролетных неразрезных пролетных строениях или в фермах, осложняют задачу мониторинга состояния, поскольку вклад изменения напряженно-деформированного состояния какого-либо узла или части сооружения в величины периодов и логарифмических декрементов собственных колебаний всего сооружения становится все меньше и меньше. Такие пролетные строения будут требовать большего количества контрольных точек, вплоть до установки измерительных приборов в каждом несущем узле, что даст возможность локализации изменений в динамических характеристиках, получаемых при измерениях.

Таким образом, внедрение данного комплекса позволяет произвести первичные выводы о техническом состоянии моста, определить необходимость детального обследования. При использовании измерительных приборов с возможностью беспроводного обмена информацией между прибором и основным сервером можно организовать непосредственную запись и обработку данных в режиме реального времени. Такой подход будет способствовать более оперативному принятию решений во время эксплуатации сооружения.

**Ա.Ն.Սարգսյան,  
Բ.Ռեզնիկ,  
Ս.Գ.Ստեփանյան**

#### **ԿԱՍՈՒՐՉՆԵՐԻ ԹՈՒՉՔԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՄՇՏԱԴԻՏԱՐԿՈՒՄԸ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՀԱՄԱԼԻՐ ԲԱԶԱՅԻ ԿԻՐԱՌՄԱՍԲ**

*Տրված է կամուրջների թռիչքային կառուցվածքի տատանումների գրանցված արագացումների մշակման և վերլուծման համար նախատեսված “Bridge Dynamic Health Monitoring” վերլուծական համալիրի նկարագրությունը: Արագացումների սպեկտրների, մարման լոգարիթմական դեկրեմենտների որոշումը և դրանց համեմատությունը էտալոնային արժեքների հետ թույլ է տալիս իրականացնել կոնստրուկցիայի տեխնիկական վիճակի վերաբերյալ սկզբնական գնահատում, ինչպես նաև գնահատել կոնստրուկցիայի մանրամասն գննման իրականացման և կամուրջով երթևեկության դադարեցման անհրաժեշտությունը: Առանցքային բառեր. թռիչքային կառուցվածք, տատանումներ, հաճախությունների սպեկտր, մարման լոգարիթմական դեկրեմենտ, մշտադիտարկում*

**A.N.Sargsyan,  
B.Resnik,  
S.G.Stepanyan**

#### **MONITORING OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF BRIDGE SPANS BY USING COMPREHENSIVE DATABASE**

*The description of the analytic complex of “Bridge Dynamic Health Monitoring” model for the span acceleration measurements data processing and analysis is presented in the paper. The definition of acceleration spectra and damping constant, their comparison with the previously obtained and reference of data allow making an initial evaluation of structure status and give an opportunity to predict the necessity of the detailed and instrumental investigation of the bridge and the traffic on it.*

**Keywords:** span structure, oscillation, frequency spectrum, logarithmic decrement, monitoring

## Литература

1. **Reznik B., Sargsyan A.** Analyse von Schwingungsmessungen im Rahmen eines Frühwarnsystems für Bauwerksmonitoring: Forschungsbericht/ Beuth Hochschule für Technik Berlin. – 2011. - P.85-89.
2. **Reznik B., Sargsyan A.** Dynamic Monitoring of Bridges Spans// Opportunities of Geodetic Monitoring on the Example of Current Projects in Eastern Europe/ Resnik B. (Ed.). – Aachen: Shaker Verlag, 2013. - P.20-27.
3. **Reznik B., Sargsyan A.** Dynamische Belastungstests von tragenden Konstruktionen mithilfe von Beschleunigungsaufnehmern// Allgemeine Vermessungs Nachrichten. – 2014. – N 4. - P.141-148.
4. **Азоян Р.** Застосування методу скінченних елементів під час аналізу високочастотних вимірювань на прикладі Давидашенського мосту в Єревані / Р.Азоян, А.Гюльзаян, А.Саркісян, Б.Резнік, П.Ефендян // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2012. - N1 (23).
5. **Резник Б.** Применение метода конечных элементов при анализе высокочастотных измерений на примере железнодорожных мостов в условиях Заполярья/ Б. Резник, В. Лобазов, В. Герасимов, А.Саргсян // Геопрофи. - М., 2011. – N 3. - С. 65-69.
6. **Fujino Y.** Control, simulation and monitoring of bridge vibration – Japan’s recent development and practice/ Y.Fujino, D. M.Siringoringo, T.Nagayama, D.Su // IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-II. - 2010. – P. 61–74.
7. **Carden E. P., Fanning P.** Vibration Based Condition Monitoring// A Review *Structural Health Monitoring*. – 2004. – N 3(4). – P.355–377.
8. **Wenzel H.** Health Monitoring of Bridges. - John Wiley & Sons, Ltd., 2009. - 621 p.

Աշխատանքն իրականացված է ՀՀ պետական բյուջեից գիտական և գիտատեխնիկական գործունեության բազային ֆինանսավորմամբ «ՀՀ ճարտարապետական և շինարարական համալիրների կայուն զարգացման ուղիների բացահայտում, ճշգրտում, ներդրման առաջարկությունների և հանձնարարականների մշակում՝ մշտական մոնիթորինգի կիրառմամբ» ծրագրի շրջանակում:

**Մարգյան Արտաշես Նիկողայի, տ.գ.թ.** (ՀՀ, ք.Երևան)- ՃՇՀԱՀ, ակ. Ալ. Թամանյանի անվ. ճարտարապետության և շինարարության պրոբլեմային լաբորատորիա, ակ.ա., (+374) 91414238, e-mail: ansargsyan@yahoo.com; **Ռեզնիկ Բորիս, դոկտոր, պրոֆեսոր** (ԳԴՀ, ք.Բեռլին)- Բեռլինի կիրառական գիտությունների համալսարան, Շինարարության ու գեոդինամիկայի դեպարտամենտ, 0304504-2596, e-mail: resnik@beuth-hochschule.de; **Ստեփանյան Մարգիս Գեղամի, ասպիրանտ** (ՀՀ, ք.Երևան)-Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, (+374)43188121, e-mail: sastep1991@mail.ru

**Саргсян Арташес Николаевич, к.т.н.** (РА, г.Ереван)- НУАСА, Проблемная лаборатория Архитектуры и строительства им. академика Ал. Таманяна, с.н.с (+374)91414238, e-mail: ansargsyan@yahoo.com; **Резник Борис, доктор, профессор** (ФРГ, г. Берлин) -Берлинский Университет Прикладных Наук, департамент строительства и геодинамики,. 0304504-2596, e-mail: resnik@beuth-hochschule.de; **Степанян Гарник Гегамович, аспирант** (РА, г.Ереван)- Национальный Университет Архитектуры и Строительства Армении, (+374)43188121, e-mail: sastep1991@mail.ru

**Sargsyan Artashes Nikolay, PhD in Engineering, National University of Architecture and Construction of Armenia, senior researcher, tel. 091414238, e-mail: ansargsyan@yahoo.com; Boris Resnik, Professor, PhD in Engineering, Berlin University of Applied Science, Department of Construction and Geodynamic, tel. 0304504-2596, e-mail: resnik@beuth-hochschule.de; Stepanyan Garnik Gegham Ms.D., National University of Architecture and Construction of Armenia, senior researcher, tel. 043188121, e-mail: sastep1991@mail.ru**

Ներկայացվել է՝ 18.05.2016թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 25.05.2016թ.