

Динамический мониторинг строительных конструкций на примере пандуса киноконцертного зала «Пушкинский» в г. Москва

Д.т.н., профессор, с.н.с. С.Н. Савин,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет*

Ключевые слова: динамические характеристики; формы колебаний; частота колебаний по основным формам; мониторинг; метод свободных колебаний; возбуждение колебаний; спектры Фурье

Федеральный закон (ФЗ-384) ставит перед строительной отраслью задачи по обеспечению механической безопасности строительных конструкций на всех этапах жизненного цикла здания или сооружения. Для реализации этих требований можно использовать различные методы диагностики, когда безопасность объекта устанавливается в процессе проведения технического обследования. В нашей организации для этой цели на протяжении последних 20 лет используется «Метод свободных колебаний» [1–6], который, по нашему мнению, является наиболее эффективным из всех интегральных методов диагностики. В 2010 году его применение для мониторинга за особо ответственными строительными объектами было узаконено в рамках ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

В настоящее время метод свободных колебаний не нашел широкого применения в практике обследования. Среди немногих организаций, которые его применяют для получения динамических характеристик зданий и сооружений, можно назвать региональные центры МЧС, оснащенные соответствующей аппаратурой, Центр исследования экстремальных ситуаций (ЦИЭКС), Московский государственный строительный университет, Новосибирский институт вычислительной математики и математической геофизики, а также Иркутский государственный университет [7-13]. Поэтому для большинства зданий и сооружений отсутствует сравнительная база данных по исходным динамическим характеристикам объекта. Очевидно, что для тех сооружений, где такие данные существуют, динамический мониторинг может быть актуальным и эффективным [14].

Кроме того, поскольку в нормативном документе не «узаконен» метод определения динамических параметров, возникает вопрос, в какой степени данные, полученные одной организацией, применяющей свои оригинальные методические подходы, могут быть использованы другими специалистами, придерживающимися иных методических принципов. И далее, в какой степени на конечный результат (динамические параметры) могут влиять те или иные методы, применяемые специалистами при испытаниях. В связи с уже отмеченным отсутствием базы динамических характеристик большинства объектов мониторинга ранее такой анализ не проводился.

Таким образом, в начале 2012 года при определении динамических параметров пандуса киноконцертного зала в Москве решались две актуальные задачи:

- мониторинг технического состояния сооружения;
- принципиальная оценка возможности использования при мониторинге динамических параметров, полученных ранее специалистами другой организации, возможно, другими методами.

Объект обследования – выполненный в виде каркасной системы из свайного фундамента, жестко соединенных с ним железобетонных колонн и опертого на них пролетного строением из монолитного и сборного железобетона. Пролетное строение расположено на уровне 5,09 м – 5,14 м и имеет размеры 19,5 м × 21,7 м, см. рис. 1.

По данным предыдущего обследования [15] пандус был построен в 1961 г. по проекту Магистральной архитектурно-проектной мастерской «ИКОНТ». В 1991 г. была проведена реконструкция (замена) конструкций сборных железобетонных плит перекрытия на монолитное железобетонное перекрытие.

Савин С.Н. Динамический мониторинг строительных конструкций на примере пандуса киноконцертного зала «Пушкинский» в г. Москва



Рисунок 1. Эстакада. Вид снизу на пролетное строение

Динамические характеристики конструкций определялись нами с использованием метода свободных колебаний по ГОСТ 18353 – 79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов».

Методической особенностью, примененной на данном объекте, было проведение испытаний в «активном» режиме. Это означает, что при регистрации колебаний производилась запись отклика исследуемых конструкций и их элементов на воздействие от удара, инициируемого прыжком оператора на пролетном строении.

В ходе проводимых испытаний использовался оригинальный измерительный комплекс (см. рис. 2) в составе:

- измерительных датчиков – акселерометров с чувствительностью 100 мм/м/с^2 (см. рис. 3);
- блока амплитудно-цифровых преобразователей (АЦП);
- предусилителей и усилителей;
- измерительных кабелей;
- портативного компьютера.



Рисунок 2. Портативный измерительный комплекс на объекте испытаний



Рисунок 3. Установка акселерометров на конструкциях

Методика определения динамических характеристик конструкций и сооружений по их свободным колебаниям, возбуждаемым воздействием непосредственно на объект внешней импульсной нагрузкой, включает в себя следующие операции:

- возбуждение и регистрацию колебаний;
- вычисление их спектров Фурье;
- анализ спектров Фурье с целью выделения резонансных пиков, соответствующих различным формам свободных колебаний;
- получение с помощью обратного преобразования Фурье импульсных реализаций выделенных резонансных пиков по каждой форме свободных колебаний;
- идентификация и графическое представление различных форм колебаний.

Результаты испытаний представлены в виде форм колебаний на соответствующих собственных частотах (см. рис. 4).

Зафиксированы основные формы колебаний на частотах:

- 4, 52 Гц и 4,3 Гц (первая форма колебаний);
- 10,9 Гц и 11,3 Гц (вторая форма колебаний);
- 6,65 Гц и 7,53 Гц (крутильные колебания).

Анализ результатов динамических испытаний пандуса проводился в сопоставлении с динамическими параметрами, полученными ЦИЭКС в 2006 г. [15].

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 53778-2010 определялись «...параметры зданий и сооружений, характеризующие их динамические свойства, проявляющиеся при динамических нагрузках, и включающие в себя периоды собственных колебаний основного тона и обертонов, их частей и элементов и др.» При этом критерием оценки технического состояния является требование не превышения ранее полученных динамических параметров более, чем на 10%. В этом случае «.. следующие измерения проводят еще через два года».

Основная проблема при анализе ранее полученных и вновь определяемых динамических параметров заключалась в правильной идентификации частоты и формы колебаний. Очевидно, что при близких значениях частоты для различных форм существует вероятность ошибки при идентификации. Вероятность такой ошибки существенно возрастает, если используемые данные не содержат сведений о схемах измерений и формах колебаний конструкции. В нашем случае ситуация осложнялась и отсутствием данных о формах колебаний, и наличием сложной динамической картины, когда движения пандуса отличались для правой и левой его частей, хотя и незначительно (см. рис. 4).

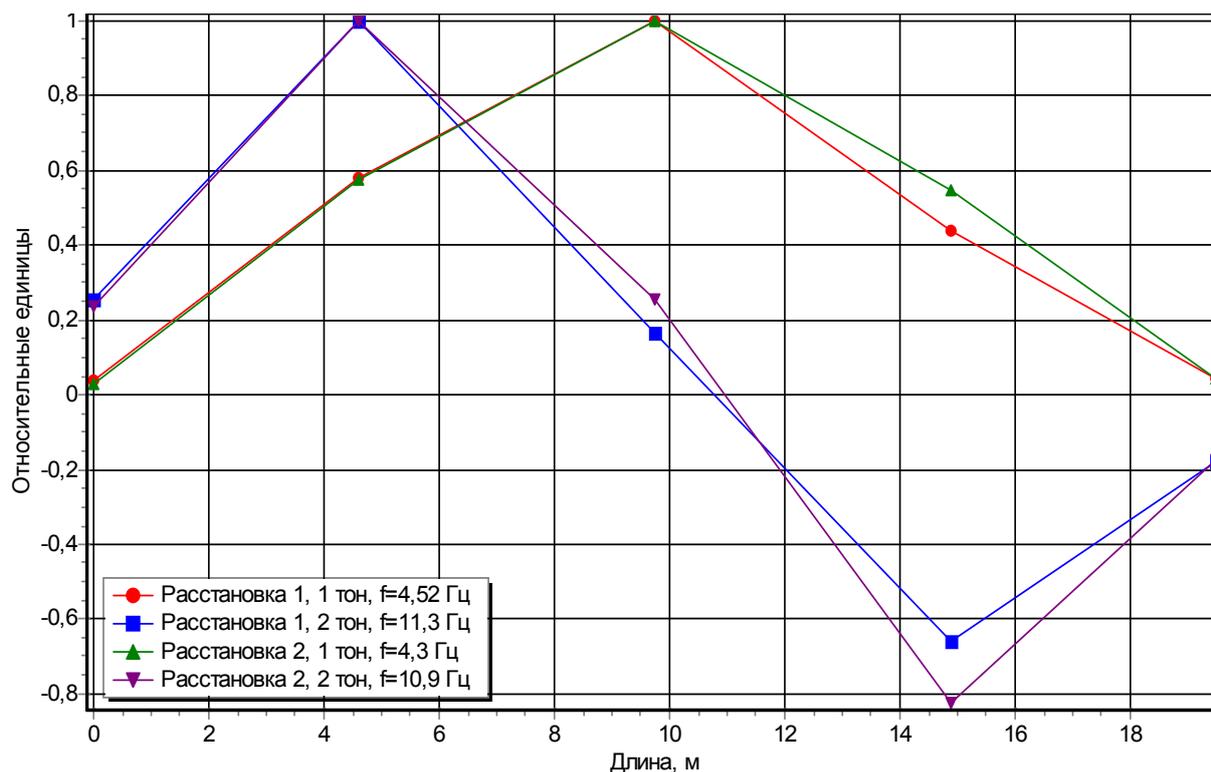


Рисунок 4. Эпюры колебаний пандуса на собственных частотах (первый и второй тоны для левой и правой частей пандуса)

Несмотря на эти технические трудности, удалось уверенно идентифицировать частоты колебаний и сделать вывод о том, что вновь полученные динамические характеристики не превышают ранее измеренные более чем на 8%.

Так, значения частот собственных колебаний по первому тону увеличились для левой и правой частей пандуса на 8 и 7% соответственно, для второго тона – на 5 и 6% соответственно. Частоты крутильных колебаний ранее [8] не определялись. Такое заключение удалось сделать, анализируя колебания более высоких форм. Именно анализ частот второго тона позволяет принципиально решить задачу адекватной динамической модели сооружения и избежать ошибок идентификации частоты колебаний по соответствующей форме.

Таким образом, результаты мониторинга через шестилетний период эксплуатации показывают, что техническое состояние конструкций изменилось не существенно, дополнительного обследования не требуется.

Выводы

Приведенный пример показывает, что в данном конкретном случае удалось использовать динамические параметры, полученные ранее специалистами другой организации. Однако при этом идентификация динамических характеристик потребовала значительных усилий.

Очевидно, что предлагать вносить в ГОСТ Р рекомендации по конкретным методам, которые требуется использовать при получении «динамических параметров», не целесообразно. Выход мы видим в расширении (по возможности) количества регистрируемых динамических параметров до второго и более высоких тонов колебаний, если технически имеется такая возможность.

Очевидно, что приведенный пример пока не характерен для большинства обследуемых зданий и сооружений, однако, если определять динамические параметры для объекта в ходе любых детальных обследований, то вскоре мы сможем получить представительную базу данных для последующих наблюдений.

Литература

1. Пособие по расчетно-экспериментальной оценке сейсмостойкости общеобразовательных зданий и сооружений (к ВСП 22-01-95) МО РФ. М., 2004. 108 с.
2. Савин С. Н., Ситников И. В., Терехов В. М., Титова Л. И., Соколов В. А. Некоторые результаты инструментального обследования здания 101-й серии с использованием волновой микродинамики // Серия: Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. Выпуск 6. М., 2000. С. 3-6.
3. Савин С. Н., Артемьев А. Н., Шевченко Н. И. Комплексный метод выявления скрытых дефектов и оценка надежности строительных конструкций // Информационно-аналитический журнал «Зодчий». 2001. № 1. С. 76-78.
4. Савин С. Н., Ситников И. В., Привалов С. Ю. Результаты обследования конструкций бочарных сводов большого пролета с использованием метода свободных колебаний // Серия: Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2001. Выпуск 6. С. 3-7.
5. Савин С. Н. Техническая диагностика прочностных характеристик зданий и сооружений на основе анализа форм их собственных колебаний. МО РФ. 2006. 141 с.
6. Савин С. Н. и др. Современные методы технической диагностики строительных конструкций зданий и сооружений. СПб.: РДК-принт, 2000. 127 с.
7. Гурьев В. В., Дорофеев В. М. Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций высотных зданий. Стройбезопасность-2005. М.: ЦНСТМО, 2005. С. 18-21.
8. Катценбах Р., Шмит А., Рамм Х. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франфурта-на-Майне. Случаи из практики // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2005. № 9. С. 80-99.
9. Неугодинов А. П., Круглов И. Ю. Строительный мониторинг на базе волоконно-оптических датчиков. Концепция и реализация. Строительный Тендер. 2008. № 30. С. 40-41.
10. Николаев С.В., Острецов В.М., Острецов А.В., Гендельман Л.Б., Вознюк А.Б., Капустян Н.К., Сухин В.В. Опыт проектирования и эксплуатации схем мониторинга конструкций и оснований высотных зданий // Современные системы и средства комплексной безопасности и противопожарной защиты объектов строительства. 2006. С. 18-22.
11. Шаблинский Г. Э., Зубков Д. А. Экспериментальные исследования динамических явлений в строительных конструкциях атомных электростанций. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. 192 с.
12. Острецов В. М., Гендельман Л. Б., Вознюк А. Б., Болдырев С. С., Капустян Н. К. Способ определения истинных значений собственных частот колебаний зданий. Патент RU 2242026 С1, 15.01. 2004.
13. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений / МЧС России. М., 2003. 46 с.
14. Савин С. Н., Демишин С. В., Ситников И. В. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по ГОСТ Р 53778-2010 // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7. С. 33-39.
15. Заключение по результатам обследования технического состояния строительных конструкций пандуса киноконцертного зала «Пушкинский» по адресу: г. Москва, Пушкинская пл., дом 2. ЦИЭКС. 2006 г.
16. Roytman V. M., Lukashovich I. Engineering Method for Prompt Assessment of Structural Resistance against Combined Hazard Effects. Resilience of Cities to Terrorist and other Threats: Learning from 9/11 and further Research Issues // Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Urban Structures Resilience under Multi-Hazard Threats: Lessons of 9/11 and Research Issues for Future Work. Moscow, Russia, 16 July –18 July 2007. Published by Springer. 2008. Pp. 239-256.
17. Cherry S., Brady A. G. Determination of Structural Dynamic Properties by Statistical Analysis of Random Vibrations // Proceeding Third World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, 1965. Vol. II. Pp. 50-68.
18. Bishop R. E., Gladwell G. M. An investigation into the theory of resonance testing // Philosophical Transactions. 1963. Series A, Volume 225, A-1055. Pp. 241-280.

**Сергей Николаевич Савин, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. моб.: +7-911-220-49-92; эл. почта: savinsn@gmail.com

© Савин С.Н., 2012

doi: 10.5862/MCE.33.7

Dynamic monitoring of building structures on the example of the concert hall "Pushkinskiy" ramp in Moscow

S.N. Savin,*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia,
+7-911-220-49-92; e-mail: savinsn@gmail.com*

Key words

dynamic characteristics; mode shapes; fundamental vibration frequencies; buildings; monitoring; diagnostics; free vibration method; vibration excitation; Fourier spectrum; technical condition

Abstract

In present time the free vibration method is not widely used in building survey practice. That is why the comparative database on initial dynamic object characteristics does not exist for the majority of buildings. So it is interesting to estimate the principal possibility of using dynamic parameters received earlier by other experts and by other methods.

The article presents the results of dynamic tests of building structures of the ramp cinema-concert hall «Pushkin» in Moscow. Modes shapes are presented in the graphs for the relevant natural frequencies. The natural-vibration frequencies were compared with previously obtained values and analyzed.

The results of the analysis are the basis for recommendations on the further operation of the building. The conclusion is made about a satisfactory technical condition of the examined structures. The study showed that it is possible to use in the monitoring dynamic parameters received earlier by other experts. However, the dynamic characteristics identification become difficult in this case.

References

1. *Posobie po raschetno-eksperimentalnoy otsenke seysmostoykosti obshchevoiskovykh zdaniy i sooruzheniy (k VSP 22-01-95) MO RF* [Benefit calculation and experimental evaluation of seismic stability of buildings and structures combined arms]. M., 2004. 108 p. (rus)
2. Savin S. N., Sitnikov I. V., Terekhov V. M., Titova L. I., Sokolov V. A. *Seriya: Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy* [Series: earthquake engineering. Security structures]. 2000. No. 6. Pp.3-6. (rus)
3. Savin S. N., Artemev A.N., Shevchenko N. I. *Informatsionno-analiticheskiy zhurnal «Zodchiy»* [Information and analytical magazine "Architect"]. 2001. No. 1. Pp.76-78. (rus)
4. Savin S. N., Sitnikov I. V., Privalov S.Yu. *Seriya: Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy* [Series: earthquake engineering. Security structures]. 2001. No. 6. Pp.3-7. (rus)
5. Savin S. N. *Tekhnicheskaya diagnostika prochnostnykh kharakteristik zdaniy i sooruzheniy na osnove analiza form ikh sobstvennykh kolebaniy. MO RF* [Technical diagnostics of the strength characteristics of buildings and structures on the basis of analysis of the forms of their natural oscillations], 2006. 141 p. (rus)
6. Savin S. N. and others. *Sovremennye metody tekhnicheskoy diagnostiki stroitelnykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy* [Modern methods of technical diagnostics construction of buildings and structures]. Saint-Petersburg: Izd. «RDK-print», 2000. 127 p. (rus)
7. Gurev V. V., Dorofeev V. M. *Monitoring napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya nesushchikh konstruksiy vysotnykh zdaniy. Stroybezopasnost-2005* [Monitoring of the stress-strain state of load-bearing structures of tall buildings]. Moscow: TcNSTMO, 2005. Pp.18-21. (rus)
8. Kattcenbakh R., Shmit A., Ramm Kh. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitelstvo* [Urban renewal and Geotechnical Engineering]. 2005. No. 9. Pp.80-99. (rus)

Savin S.N. Dynamic monitoring of building structures on the example of the concert hall "Pushkinskiy" ramp in Moscow

9. Neugodnikov A. P., Kruglov I. Yu. *Stroitelnyy monitoring na baze volokonno-opticheskikh datchikov. Kontseptsiya i realizatsiya. Stroitelnyy Tender* [Construction monitoring of fiber-optic sensors. Concept and realizatsiya. construction Tender]. 2008. No. 30. Pp.40-41. (rus)
10. Nikolaev S. V., Ostretcov V. M., Ostretcov A. V., Gendelman L. B., Vozniuk A. B., Kapustian N. K., Sukhin V. V. *Sovremennye sistemy i sredstva kompleksnoy bezopasnosti i protivopozharnoy zashchity obektov stroitelstva* [Modern systems and integrated security and fire protection construction projects]. 2006. Pp.18-22. (rus)
11. Shablinskiy G. E., Zubkov D. A. *Eksperimentalnye issledovaniia dinamicheskikh yavleniy v stroitelnykh konstruktivnykh atomnykh elektrostantsiy* [Experimental studies of dynamic phenomena in structures of nuclear power plants]. Publishing house: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2009. 192 p. (rus)
12. Ostretsov V. M., Gendelman L. B., Voznyuk A. B., Boldyrev S. S., Kapustyan N. K. Sposob opredeleniya istinnykh znacheniy sobstvennykh chastot kolebaniy zdaniy. Patent RU 2242026 S1, 15.01 [Way to determine the true values of the natural frequencies of buildings. Patent RU 2242026 C1, 15.01]. 2004. (rus)
13. *Metodika otsenki i sertifikatsii inzhenernoy bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy. MChS Rossii* [Methods of assessment and certification of safety engineering buildings. Russian Emergencies Ministry]. Moscow, 2003. 46 p. (rus)
14. Savin S. N., Demishin S. V., Sitnikov I. V. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 7. Pp. 33-39. (rus)
15. *Zaklyuchenie po rezultatam obsledovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya stroitelnykh konstruktivnykh pandusa kinokontsertnogo zala «Pushkinskiy» po adresu: g. Moskva, Pushkinskaya pl., dom 2. TcIEKS* [The conclusion of the survey technical engineering structures ramp concert hall "Pushkin"]. 2006. (rus)
16. Vladimir M. Roytman, Igor Lukashevich. Engineering Method for Prompt Assessment of Structural Resistance against Combined Hazard Effects. Resilience of Cities to Terrorist and other Threats: Learning from 9/11 and further Research Issues. *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Urban Structures Resilience under Multi-Hazard Threats: Lessons of 9/11 and Research Issues for Future Work*. Moscow, Russia, 16 July –18 July 2007. Published by Springer, 2008, Pp. 239-256.
17. Cherry S., Brady A. G. Determination of Structural Dynamic Properties by Statistical Analysis of Random Vibrations, *Proceeding Third World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand, 1965.
18. Bishop R. E., Gladwell G. M. An investigation into the theory of resonance testing. *Phil.Trans.* 1963. No. 1055. Vol. 255. Series A.

Full text of this article in Russian: pp. 58-62