

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №2, Том 10 / 2018, No 2, Vol 10 <https://esj.today/issue-2-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/50SAVN218.pdf>

Статья поступила в редакцию 10.04.2018; опубликована 04.06.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кадо́мцев М.И., Развеева И.Ф. Оптимизация параметров измерений при обследовании зданий и сооружений с помощью методов МАС // Вестник Евразийской науки, 2018 №2, <https://esj.today/PDF/50SAVN218.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Kadomtsev M.I., Razveeva I.F. (2018). Optimization of measurement parameters in the survey of buildings and structures using the methods of MAC. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(10). Available at: <https://esj.today/PDF/50SAVN218.pdf> (in Russian)

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-01-00715-А

УДК 69.059

Кадо́мцев Максим Игоревич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Кандидат физико-математических наук, доцент
E-mail: kadomtsev@mail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=163403

Развеева Ирина Федоровна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Аспирант
E-mail: razveevai@mail.ru
РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=808088

Оптимизация параметров измерений при обследовании зданий и сооружений с помощью методов МАС

Аннотация. В настоящее время одной из актуальных проблем в строительстве является диагностика технического состояния зданий и сооружений, которая позволяет определить состояние конструкций, предотвратить возникновение аварийных ситуаций, повысить сроки эксплуатации конструкций. Наиболее эффективными и перспективными неразрушающими методами контроля являются вибрационные методы.

Целью исследования является выявление возможностей вибрационного метода, где за основу методов взята оценка величин критерия модальной сходимости, критерия координатной модальной сходимости, а также оптимизация параметров измерений. Вибрационная диагностика на сегодняшний день является одним из наиболее востребованных направлений строительной экспертизы.

В статье приведены результаты численных экспериментов, показывающие эффективность применения данных методов диагностики. Установлено, что вероятность успешной локализации повреждений зависит от размеров повреждения конструкции, числа точек мониторинга, а также расположения места повреждения на конструкции. Подробно изучен случай возникновения дефекта вблизи опоры.

Практическая значимость данной работы заключается в возможности сокращения времени технического обследования зданий за счет уменьшения количества устанавливаемых

датчиков, а также за счет предварительного определения дефектных областей при детальном обследовании или испытаниях строительных конструкций.

Ключевые слова: вибродиагностика; конструкция; плита; дефект; повреждение; вибрация; мониторинг; диагностика; локализация; идентификация

Одной из основ безопасности эксплуатации любого здания является его техническое обследование – это отдельное направление строительной экспертизы, которое имеет большое значение при решении вопросов обеспечения долговечности и надёжности конкретного здания. Данное обследование позволяет изучить актуальное состояние строительных конструкций с целью предотвращения аварийных ситуаций и, соответственно, повышения сроков эксплуатации конструкций¹.

Требования к системам диагностики текущего состояния объектов активно возрастают. Наиболее значимы мобильные, универсальные и простые системы, дающие возможность в краткие сроки оценить действительные характеристики конструкций зданий и сооружений. В последние десятилетия получили интенсивное развитие динамические методы, в основе которых лежат вибрационные технологии.

Вибрационная диагностика – метод технической диагностики, в основе которого лежит явление механических колебаний твердых тел; он позволяет решать задачи поиска дефектов и оценки технических характеристик исследуемого объекта². Диагностика сооружений проводится с целью обнаружения аномалий и дефектов, появившихся в результате конструктивных, технологических или эксплуатационных ошибок. Сооружение подвергается динамическому воздействию и определяются параметры отклика. Они анализируются и далее, используя конечноэлементное моделирование, определяется реальное напряженно-деформированное состояние конструкции.

Интенсивное развитие метода в последние годы связано с удешевлением электронных вычислительных средств и упрощением анализа вибрационных сигналов.

Преимущества вибрационного подхода:

1. Позволяет находить скрытые дефекты.
2. Не требует сборки-разборки оборудования.
3. Малое время диагностирования.
4. Возможность обнаружения неисправностей на этапе их зарождения.

Целью данной работы является решение задачи оптимизации параметров измерений локализации повреждений строительных конструкций с применением методов вибрационной диагностики.

За основу методов взята оценка величин критерия модальной сходимости («Modal Assurance Criteria» – MAC), критерия координатной модальной сходимости (COMAC) – для решения задачи локализации дефектной области. Входными параметрами для реализации

¹ ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния, М.: Стандартинформ, 2014.

² ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию», М.: Стандартинформ, 2008.

расчетов являются частота собственных колебаний конструкции и соответствующие им формы колебаний.

В ходе исследования были обработаны данные следующих методов:

1. Анализ формы колебаний (Direct change in mode shape method).
2. Анализ кривизны колебаний (Change in mode shape curvature method).
3. Анализ индекса повреждения (Damage Index method).
4. Анализ максимальной податливости конструкции (Change in flexibility method).
5. Анализ изменения податливости конструкции (Change in uniform flexibility curvature method) [1, 2, 3].

Наиболее значимыми на практике являются методы под номерами 1 и 3. Это связано с достаточной степенью изученности и разработки данных методов.

Для проведения анализа были взяты достоверные значения о локализации места повреждения, полученные с помощью программного комплекса "СтройДиагностика". Моделирование и анализ параметров в программе происходит в расчетном комплексе ANSYS, имитируется получение данных измерений от датчиков акселерометров, обладающих широким динамическим и частотным диапазоном, а также высокой чувствительностью, устанавливаемых на физической системе (конструкции) на небольшом количестве точек [5, 7, 9, 10].

В соответствии с рис. 1, исследуемым объектом является следующая конструкция: плита длиной 12 м, шириной 1,5 м и высотой 0,3 м.

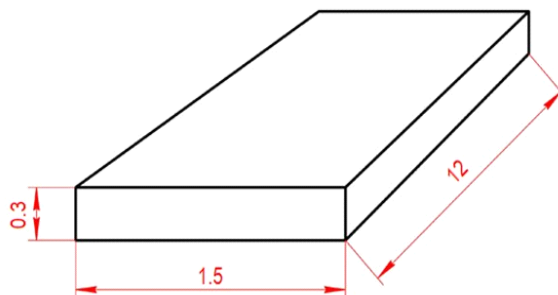


Рисунок 1. Геометрические параметры исследуемой конструкции (разработано автором)

В работе приведены результаты расчета по обнаружению (локализации) дефекта, обладающего размерами 0,15 м × 0,15 м × 0,15 м. В ходе проведения исследования смещение по оси OY во всех случаях составило 0,65 м, смещение по оси OX варьировалось в зависимости от конкретной задачи.

Согласно методу вибродиагностики, в местах повреждений наблюдается наибольшая величина абсолютных изменений в кривизне формы колебаний. Поиск максимальных пиковых значений в методах обнаружения дефектов позволяет идентифицировать и локализовать повреждение [4, 6, 8].

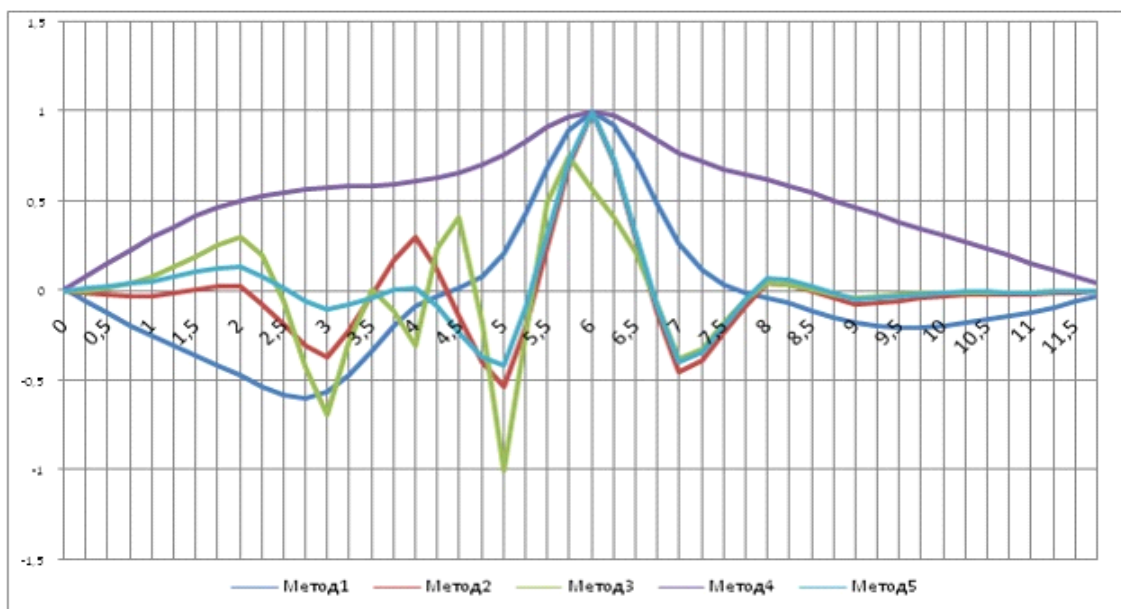


Рисунок 2. График локализации дефекта, находящегося в точке 6 м (разработано автором)

По каждому из смещений дефекта по оси ОХ был сделан анализ работы методов при 12 и при 6 точках мониторинга, представленный в таблице 1, где $L_{факт}$ (м) и $L_{прогноз}$ (м) – фактическое и прогнозируемое расположение дефекта.

Таблица 1

Определение дефекта при 12 и 6 точках мониторинга

$L_{факт}$, м	$L_{прогноз}$, м	Погрешность, м	Количество точек мониторинга
1,5	2,25	0,75	12
3	3	0	12
4,5	4,5	0	12
6	6	0	12
1,5	1,92	0,42	6
3	3,84	0,84	6
4,5	4,56	0,06	6
6	6	0	6

Можно сделать вывод, что с уменьшением числа точек мониторинга точность определения места расположения дефекта при движении от центра плиты постепенно ухудшается.

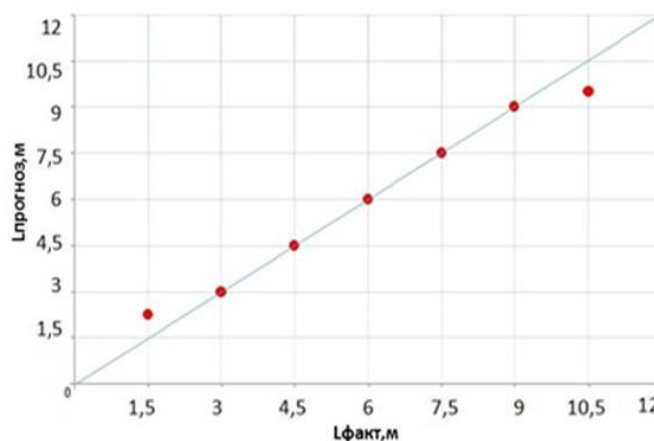


Рисунок 3. Определение расположения дефекта при 12 точках мониторинга (разработано автором)

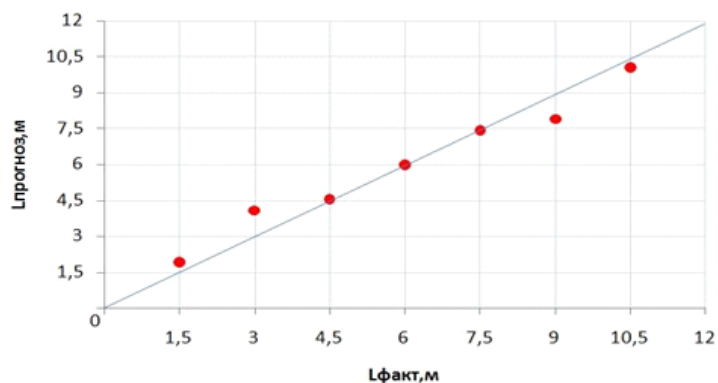


Рисунок 4. Определение расположения дефекта при 6 точках мониторинга (разработано автором)

В ходе обработки данных было замечено, что при расположении дефекта вблизи опоры возникают сложности локализации повреждения. Для более детального изучения данной ситуации был рассмотрен случай расположения дефекта в плите класса бетона В10 на расстоянии 0,3 м от края плиты.

Были исследованы четыре случая:

1. При 10 точках измерения.
2. При 15 точках измерения.
3. При 20 точках измерения.
4. При 50 точках измерения.

В таблице 2 представлен анализ работы методов при обнаружении дефекта, расположенного вблизи опоры с использованием различного количества точек мониторинга.

Таблица 2

Фактическое и прогнозируемое расположение дефекта вблизи опоры

Лфакт, м	Лпрогноз, м	Погрешность, м	Количество точек мониторинга
0,3	0,48	0,18	50
0,3	0,72	0,42	20
0,3	0,72	0,42	15
0,3	1,2	0,9	10

На рисунке 5 представлен график, иллюстрирующий таблицу 1, который доказывает прямую зависимость погрешности локализации дефекта от количества точек мониторинга.

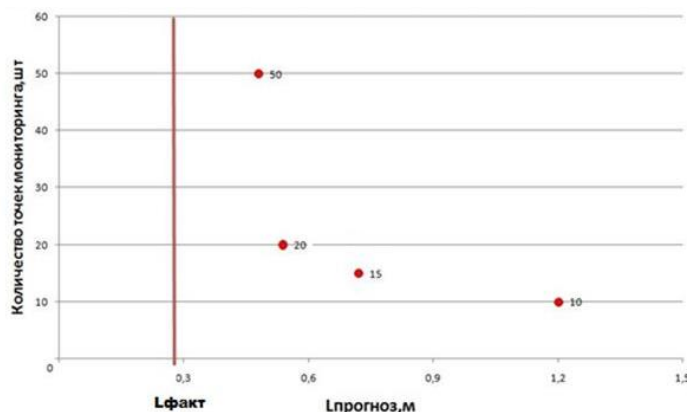


Рисунок 5. Зависимость локализации дефекта от количества точек мониторинга (разработано автором)

Точность прогнозируемого расположения повреждения ухудшается при уменьшении количества точек мониторинга. Чтобы достигнуть погрешности не более 0,5 м, необходимо использовать минимум 15 датчиков.

Потребность в высококачественной технической диагностике прослеживается на всех стадиях жизненного цикла строительных объектов. В результате использования вибрационных методов появляется возможность объективно решать задачи своевременного обнаружения и распознавания имеющихся дефектов и потенциально опасных зон.

Представленные в данной работе результаты численных экспериментов подтверждают эффективность рассмотренных методов локализации дефектов. Применение данных рекомендаций на практике позволит существенно сократить время обследования конструкций за счет сокращения количества датчиков, а также за счет предварительного определения мест, на которые необходимо обратить внимание при детальном обследовании или испытаниях. Метод вибрационной диагностики сегодня приобретает всё большее распространение при обследованиях строительных конструкций, так как он позволяет находить скрытые дефекты, существенно экономит время и не требует вскрытия конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allemang, R.J. 2002. The modal assurance criterion (MAC): twenty years of use and abuse. Proceedings of the 20th International Modal Analysis Conference, Los Angeles, Calif., pp. 397-405.
2. Khoshnoudian F, Esfandiari, Structural damage diagnosis using modal data. Sharif Univ Technol. 2011, – p. 860.
3. Swagato Das, P. Saha, S.K. Patro. Vibration-based damage detection techniques used for health monitoring of structures: a review, Journal of Civil Structural Health Monitoring. July 2016, Volume 6, Issue 3, pp. 477-507.
4. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний: М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
5. Кадомцев М.И., Ляпин А.А., Шатилов Ю.Ю. Вибродиагностика строительных конструкций // ИВД. 2012. №3. С. 576-579.
6. Кулябко В.В. Динамика конструкций, зданий и сооружений. Часть 1. Статико-динамические модели для анализа свободных колебаний и взаимодействия сооружений с основаниями и подвижными нагрузками. ЗГИА, 2005.
7. Петрухин В.В., Петрухин С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации. М.: Инфра-Инженерия, 2010.
8. Попов А.Н., Хатунцев А.А., Шашков И.Г., Кочетков А.В. Пространственный деформационный нелинейный расчет железобетонных изгибаемых конструкций методом конечных элементов // Интернет-журнал Науковедение. 2013. №5 (18). С. 105.
9. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – 2-е. – СПб.: Питер, 2007. – С. 751.
10. Шатилов Ю.Ю. Локализация дефектов железобетонной колонны при помощи методов вибрационной диагностики // ИВД. 2014. №4-1. С. 107.

Kadomtsev Maxim Igorevich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: kadomtsev@mail.ru

Razveeva Irina Fedorovna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: razveevai@mail.ru

Optimization of measurement parameters in the survey of buildings and structures using the methods of MAC

Abstract. Currently, one of the topical problems in construction is the diagnosis of the technical condition of buildings and structures, which allows you to determine the state of structures, to prevent accidents, to increase the service life of structures. Vibration methods are the most effective and promising non-destructive testing methods.

The aim of the study is to identify the possibilities of the vibration method, which is based on the evaluation of the values of the criterion of modal convergence, the criterion of coordinate modal convergence, and the optimization of the measurement parameters. Vibration diagnostics today is one of the most popular areas of construction expertise.

The article presents the results of numerical experiments showing the effectiveness of these diagnostic methods. It is established that the probability of successful damage localization depends on the size of the structural damage, the number of monitoring points, and the location of the damage site on the structure. The case of a defect near the support was studied in detail.

The practical importance of this work is the ability to reduce the time for technical inspection of buildings by reducing the number of sensors installed, as well as through the preliminary identification of defective areas for detailed inspection or testing of building structures.

Keywords: vibration diagnostics; construction; slab; defect; damage; vibration; monitoring; diagnostics; localization; identification