

ISSN 2304-9081

Учредители:
Уральское отделение РАН
Оренбургский научный центр УрО РАН

Бюллетень
Оренбургского научного центра
УрО РАН
(электронный журнал)



2014 * № 2

On-line версия журнала на сайте
<http://www.elmag.uran.ru>

© М.Ю.Нестеренко, А.М.Нестеренко, 2014

УДК 69.058

М.Ю.Нестеренко¹, А.М.Нестеренко²

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

¹ Оренбургский научный центр УрО РАН, Отдел геоэкологии, Оренбург, Россия

² Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Цель: описать метод обследования зданий и сооружений посредством сейсмического зондирования.

Материалы и методы: приводится обоснование необходимости разработки нового метода, его экспериментальная проверка на реальном объекте (г. Оренбург, ул. Набережная 29), а также анализ полученных данных.

Результаты: корреляция собственных колебаний элементов цельной конструкции оказалась близка к единице, что доказывает отсутствие дефектов и повреждений.

Заключение: на основании полученных данных о коэффициенте корреляции можно делать выводы о состоянии конструкции и наличии дефектов и повреждений в конструкции между датчиками. Переставляя датчики и сужая границы поиска, можно точно определить расположение трещины.

Ключевые слова: обследование, собственные колебания, коэффициент корреляции, сейсмическое зондирование.

М.Ю. Nesterenko¹, А.М. Nesterenko²

INSPECTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES BY SEISMIC SOUNDING

¹ Orenburg Scientific Centre UrB RAS, Department of Geoecology, Orenburg, Russia

² Orenburg State University, Orenburg, Russia

Objective. Explore the method of inspection of buildings and structures by seismic sounding.

Materials and methods. There are rationale of necessity to develop the new method, experimental verification with real object (Orenburg, 29 Nabereznaya St) and analysis received data.

Results. Correlation of natural oscillations of unibody construction was close to unity, which proves the absence of defects and damages.

Conclusions. On the basis of the obtained data on the correlation coefficient can draw conclusions about the state of design and the presence of defects and damage to the structure between the sensors. Rearranging sensors and narrowing margins of the search, you can pinpoint the location of the crack.

Key words: Inspection, natural oscillations, correlation, seismic sounding.

Введение

В целях безопасной эксплуатации зданий и сооружений их техническое состояние периодически подвергается обследованию. К нему допускаются организации, оснащённые инструментальной базой и укомплектованные квалифицированными экспертами, поэтому данное мероприятие является трудоёмким и дорогостоящим процессом, состоящим из трёх этапов: подготовительный, предварительный (визуальный осмотр) и инструментальное обследование. Третий этап характеризуется наибольшими затратами, так как связан с использованием дорогостоящего оборудования. Целью нашей работы являлось исследование менее трудоёмкой и дорогостоящей методики обнаружения скрытых дефектов и повреждений в строительных конструкциях.

Земная кора, и особенно ее континентальная часть, в последние полвека в связи с бурным развитием цивилизации, ростом населения и крупных мегаполисов находится под воздействием слабых, но постоянно присутствующих механических вибраций, возникающих при работе разнообразных промышленных агрегатов, средств транспорта и прочих антропогенных устройств [1]. Одним из источников техногенных колебаний являются здания и инженерные сооружения, излучающие в грунт сейсмические сигналы, возбуждаемые ветровым воздействием [1]. Эти сигналы можно записывать с поверхностей строительных конструкций с помощью стандартного сейсмологического оборудования. Последующая корреляционная обработка позволяет оценить целостность всего здания в целом.

Современные методы неразрушающего контроля состояния зданий разнообразны по исполнению, информативности, стоимости работ, точности полученных результатов, сложности применяемой аппаратуры. Однако многие существующие методы обследования зданий и сооружений не предназначены для поиска скрытых дефектов внутри конструкции [3]. В ходе эксплуатации объектов чрезмерные нагрузки или усталость материала могут вызвать появление микротрещин, которые невозможно обнаружить при визуальном осмотре. Развитие этих дефектов приводит к снижению прочностных характеристик и нарушению целостности конструкции. Своевременное получение информации о появлении и развитии микротрещин позволит вовремя реконструировать или усилить конструкцию и, в итоге, снизить возможные материальные затраты [5]. Существующие методы поиска дефектов

внутри конструкции [3], например, метод ультразвукового анализа, позволяют найти нарушение, и при этом точно определить его местонахождение, однако, в связи с высокой трудоёмкостью, применение данного метода для масштабных обследований может быть экономически не эффективно.

Таким образом, актуальна разработка метода обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений на основе сейсмического анализа, позволяющего выявлять микронарушения в элементах конструкций и оценивать монолитность всего здания (сооружения). Использование данного метода позволит снизить трудоемкость и стоимость проведения работ по обследованию, повысить его качество, своевременно получать информацию на ранней стадии развития дефектов, а также вести непрерывный мониторинг технического состояния.

Метод обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений на основе микросейсмического анализа базируется на предположении, что все точки строительной конструкции при жёстком закреплении имеют одинаковые параметры колебаний (период, частота, амплитуда и форма) [3]. Таким образом, при появлении трещины или дефекта в конструкции её части по разные стороны от нарушения имеют разные параметры собственных колебаний из-за отсутствия жёсткой связи. Соответственно, сейсмограммы, полученные с датчиков, расположенных на различных частях конструкции будут отличаться. Путём расчета коэффициента корреляции (взаимосвязи) двух сейсмограмм, полученных с датчиков, расположенных по разные стороны от трещины, можно судить о целостности строительной конструкции. Близкий к единице коэффициент корреляции указывает на отсутствие нарушений в конструкции.

Материалы и методы

Для подсчета коэффициента взаимосвязи использовалась математическая модель и программное обеспечение для анализа сейсмограмм, разработанная М.Ю. Нестеренко и А.В. Бухваловой [2], которые основаны на вычислении максимального коэффициента корреляции при различных временных лагах (задержках). Временной лаг обусловлен различным расположением датчиков и скоростями распространения волновых колебаний. При отсутствии дефектов и нарушений в конструкции сейсмометры будут регистрировать одни и те же собственные колебания, следовательно, корреляция будет

максимальна и близка к единице при нулевом лаге.

Для записи собственных колебаний можно использовать стандартное сейсмологическое оборудование, используемое для мониторинга недр Земли. В частности, для экспериментальной проверки предлагаемого метода использовалось сейсмологическое оборудование, состоящее из сейсмометров СМЗ-КВ (вертикальных и горизонтальных) и системы сбора данных SDAS и UGRA производства Геофизической службы РАН, а также программные комплексы WSG и «Анализ сейсмограмм» [1]. Экспериментальным объектом обследования выбрано здание отдела геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН. Конструктивно здание состоит из трех частей: основное здание, пристроенные холл и гараж. Вследствие его эксплуатации образовались два видимых нарушения – трещина в месте стыка гаража и блока здания, а также трещина между пристроенным холлом и блоком здания (рис. 1). Данные пристройки выполнены на собственных фундаментах, поэтому весь фундамент здания в целом не является монолитной конструкцией, а имеет разрывы, что позволяет проверить предложенный метод.



Рис. 1. Обследуемое здание (г. Оренбург, ул. Набережная 29).

Сейсмологическое оборудование располагалось таким образом, что две сеймостанции (I, II) записывали собственные колебания фундамента основного блока здания, а две остальные (IV, III) – колебания фундамента холла и фундамента гаража (рис. 2).



Рис. 2. Схема расположения сейсмологического оборудования.

Результаты

В результате записи мы получили визуально схожие участки сейсмограмм в случае анализа данных с датчиков, расположенных на цельной конструкции (рис. 3а). И, наоборот, визуально различные — в случае анализа данных с датчиков с разных конструкций (Рис. 3б).

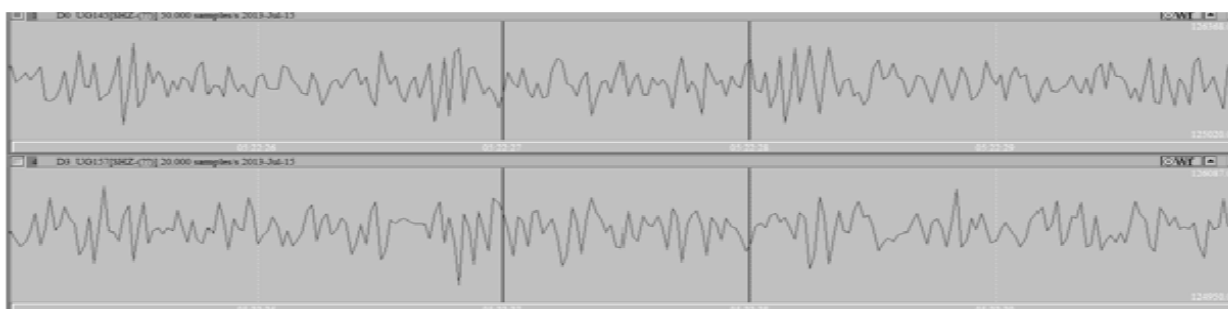


Рис.3а. Визуально похожие участки сейсмограмм с двух датчиков станций I и II, расположенных на цельной конструкции фундамента основного блока здания.

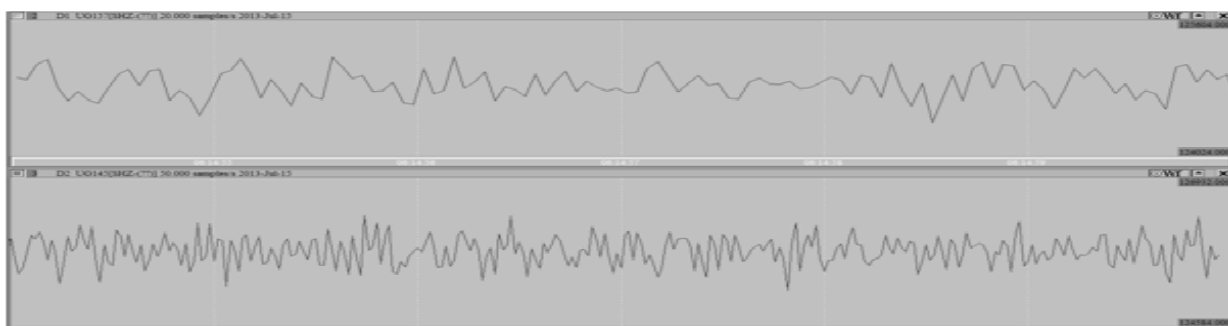


Рис. 3б. Визуально различные участки сейсмограмм с 2-ух датчиков станций I и IV, расположенных по разные стороны от разрыва в конструкциях фундаментов основного блока и пристроенного холла.

Как видно на рисунке, нижняя сейсмограмма имеет большую частоту, что объясняется наличием вынуждающей силы, которая не передается из-за наличия трещины, то есть отсутствия жёсткой связи.

Очевидно, что данный метод визуального сравнения субъективен: невозможно определить значения амплитуд и частот, а также точно сравнить данные. Поэтому нами использована программа "Анализ сейсмограмм", описанная выше, для точного подсчёта коэффициента корреляции. С помощью данного программного обеспечения подсчитывался коэффициент корреляции взятых участков сейсмограмм.

Взаимосвязь данных со станций I и II оказалась близка к единице, что подтверждает отсутствие повреждений и дефектов в конструкции фундамента основного блока здания (табл. 1). В то же время взаимосвязь сейсмограмм, записанных станциями II и IV, II и III, оказалась незначительной ($\approx 0,33$), что свидетельствует о различии параметров колебаний, совершаемых конструкциями фундаментов основного блока и пристроек (табл. 2 и 3).

Таблица 1. Лаги и коэффициенты корреляции данных со станций I и II

Датчик	Лаги		Коэффициент корреляции
	Отсчет	Время	
1	0	0	0,998
2	0	0	0,993
3	0	0	0,993

Таблица 2. Лаги и коэффициенты корреляции данных со станций II и IV

Датчик	Лаги		Коэффициент корреляции
	Отсчет	Время	
1	3	0,46	0,328
2	8	0,16	0,211
3	7	0,14	0,147

Таблица 3. Лаги и коэффициенты корреляции данных со станций II и III

Датчик	Лаги		Коэффициент корреляции
	Отсчет	Время	
1	4	0,08	0,201
2	7	0,14	0,210
3	14	0,28	0,238

Отсутствие жесткой связи из-за разрывов не позволяет всей конструкции фундамента совершать единые колебания.

Заключение

Из полученных результатов следует, что наличие дефектов и повреждений в исследуемой конструкции, а также её состояние отображается величиной получаемого коэффициента корреляции. Кроме того, переставляя датчики и сужая расстояние между генератором колебаний и соответствующими датчиками определяется расположение трещины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и стратифицированных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007.
2. Нестеренко М.Ю., Бухвалова А.В., Пелагеин А.А. Распознавание слабознергетических сейсмических событий при изучении техногенной сейсмичности. Вестник СамГТУ, серия технические науки, 2012. 2: 14-19.
3. Бондаренко И.Н., Мартынов А.В., Мокаеев А.В. «Современные методы мониторинга за техническим состоянием зданий и сооружений в процессе их эксплуатации». Электронный журнал «Наука и безопасность», 23-04-2010 (Режим доступа: <http://www.пазис.рф>).
4. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1958.
5. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».

Поступила 24.06.2014 г.

*(Контактная информация: **Нестеренко Максим Юрьевич** – доктор геолого-минералогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Отдела геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН, Оренбург, ул. Набережная 29, E-mail: geocol-ONC@mail.ru).*