

5. СТО 17230282.27.010.001-2007. Здания и сооружения объектов энергетики. Методика оценки тех. состояния. 2007.
6. СТО 70238424.27.140.035-2009. Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования.
7. Сабуров В.С., Кузьменко А.П. Обследование зданий повышенной этажности. Инженерно-сейсмометрический метод. LAMBERT Academic Publishing, 2013. 184 с.
8. Пат.2140625 Российская Федерация, МПК7 G01M 7/00. Способ определения физического состояния зданий и сооружений / В.С. Селезнёв, А.Ф. Еманов, В.Г. Барышев, А.П. Кузьменко; заявл. 17.02.98, опубл. 27.10.1999.
9. Пат. 2151233 Российская Федерация, МПК7 G01M 7/00. Способ определения динамических характеристик основания и тела плотины гидротехнических сооружений / В.С. Селезнёв, А.Ф. Еманов, В.Г. Барышев, А.П. Кузьменко, А.А. Бах; заявл. 30.10.98, опубл. 20.06.2000.
10. Кузьменко А.П., Сабуров В.С. Идентификация форм собственных колебаний при сейсмометрическом обследовании и мониторинге плотин ГЭС // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2015. Т. 274. С. 22-41.
11. Золотухин Е.П., Кузьменко А.П. Система контроля динамических характеристик плотин гидроэлектростанций по микросейсмическим колебаниям // Проблемы информатики. 2009. № 3. С. 24-33.
12. Кузьменко А.П., Воробьева Д.Б., Кузьмин Н.Г. Контроль динамических характеристик с помощью системы регистрации землетрясений и мониторинга технического состояния плотины Красноярской ГЭС // Известия ВНИИГ им. Веденеева. 2012. Т. 266. С. 12-21.
13. Контроль уровня вибраций плотины красноярской ГЭС по данным системы мониторинга / А.П. Кузьменко, В.С. Сабуров, Д.Б. Короленко, Н.Г. Кузьмин // Известия ВНИИГ им. Веденеева. 2015. Т. 275. С. 24-32.

УДК 627.82:550.34

ОБОСНОВАНИЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПО ДАНЫМ ДЕТАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Кузьменко А.П., Сабуров В.С., Короленко Л.А., Короленко Д.Б.
Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск

Авторами в содружестве с организациями: Алтае-Саянской опытно-методической сейсмологической экспедиции, Геофизической службы СО РАН, филиалом Института геологии и геофизики (г. Улан-Удэ), Югорского НИИ информационных технологий и Конструкторско-технологическим институтом вычислительной техники СО РАН разработан эффективный неразрушающий инженерно-сейсмометрический метод оценки и мониторинга технического состояния зданий и сооружений. Данный метод позволяет оценивать и контролировать техническое состояние зданий и сооружений по динамическим характеристикам их колебаний. Метод (способ) запатентован в РФ [1, 2]. Подробное описание метода, основанного на использовании комплексной передаточной функции между колебаниями в пунктах наблюдения, приведено в [3, 4].

За период с 1998 года авторами (или при их участии) осуществлено сейсмометрическое обследование около восьми десятков зданий различного назначения (Россия,

Германия, Швейцария), арочно-гравитационной плотины Саяно-Шушенской, гравитационной плотины Красноярской и контрфорсной плотины Зейской гидроэлектростанций.

Кроме того, обследованы автодорожные мосты в г. Новосибирске (р. Иня), в г. Тюмень (р. Тура), в г. Ханты-Мансийск (мост через Байбалаковскую протоку), вантовый пролет моста в районе г. Сургут (р. Обь).

Известные методы неразрушающего контроля и диагностики состояния строительных конструкций механические, ультразвуковые и т.п. позволяют определить физико-механические свойства строительных материалов и пород основания в ограниченной зоне проведения измерений и осуществить дефектоскопию конструкций. Для нахождения интегральных упругих характеристик необходимых для оценки устойчивости массивных конструкций сооружений, эти методы практически непригодны.

Рассматриваемый инженерно-сейсмометрический метод (далее кратко сейсмометрический) обследования позволяет определить с необходимой точностью динамические характеристики колебаний сооружения и оценить посредством использования замещающих аналитических моделей упругие характеристики здания или сооружения и подстилающего грунта, отображающие их техническое состояние.

Разработка сейсмометрического метода начата в 1994 году в Новосибирской опытно-методической вибросейсмической экспедиции, где работали авторы. На начальном этапе были разработаны методы определения динамических характеристик и оценки технического состояния зданий и сооружений (интегральной жесткости конструкции), по изменению частот собственных колебаний. В процессе апробации метода, при проведении обследований конструкций разного назначения авторами предложена методика определения для зданий и сооружений, интегральных величин динамического модуля упругости (модуля Юнга) и коэффициента Пуассона, по скоростям распространения упругих волн с поляризацией в основных осях сооружения [5]. Способ определения скоростей без использования специальных источников вибраций является составной частью сейсмометрического метода.

Посредством совместного использования амплитудных спектров, спектров передаточных функций, коэффициента когерентности, коэффициента бегучести волны, была усовершенствована методика идентификации частот и форм собственных колебаний плотин с определением типа наблюдаемых деформаций: сжатия-растяжения, изгиба, сдвига, изгибно-сдвиговых [6].

На следующем этапе была осуществлена разработка методики выбора и применения аналитических замещающих моделей сооружения, которая по рядам частот форм собственных пространственных колебаний позволяет оценивать величины упругих характеристик сооружения и его основания (жесткости сечения сооружения относительно сдвига, изгиба, жесткости основания относительно угловых перемещений, жесткости основания относительно поперечного (вертикального) сдвига и т.п.).

На основе работ Ахтямова А.М. [7] показана единственность решения обратной спектральной задачи – определения упругих характеристик по рядам частот форм собственных пространственных колебаний для аналитических замещающих моделей сооружения в виде стержня (балки) с различными граничными условиями.

Обследование зданий и сооружений неразрушающим инженерно-сейсмометрическим методом предусматривает:

1. Разработку схемы натурных наблюдений с одним или несколькими опорными пунктами, на основании чертежей строительной конструкции с учетом состояния сооружения и задач обследования.

2. Проведение измерений микроколебаний обследуемого строительного объекта под воздействием микросейсмических шумов техногенного и естественного происхож-

дения и динамических нагрузок от функционирующего на объекте оборудования, без использования каких либо специальных источников возбуждения вибраций (импульсных, вибрационных и т.п.), согласно схеме натуральных наблюдений.

3. Определение в результате обработки регистрационных записей динамических характеристик обследуемого строительного объекта (частоты и формы собственных колебаний, диссипативные характеристики, скоростей распространения упругих волн заданной поляризации и т.п.).

4. Сравнение полученных динамических характеристик с расчетными или полученными ранее при первичном сейсмометрическом обследовании.

5. Выбор аналитической замещающей модели обследуемого строительного объекта с учетом рядов спектров форм собственных колебаний по трем основным осям сооружения и на основе замещающей модели осуществляют оценку технических параметров объекта (упругие характеристики конструкции и основания, степень износа, несущую способность и т.п.).

6. Выдачу заключения о техническом состоянии обследуемого строительного объекта, которое включает изменение технического состояния с учетом расчетных величин или полученных ранее при обследовании.

Разработанный сейсмометрический метод оценки и мониторинга технического состояния зданий и сооружений [1] является существенным дополнением к неразрушающим методам детального инструментального обследования строительных конструкций зданий и сооружений, проводимых в соответствии с СП 13-102-2003 (п.5.2, п.9.7).

Сейсмометрический метод полностью соответствует требованиям нормативных документов по мониторингу и оценке технического состояния плотин: N 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений», «Типовой динамический паспорт гидротехнических сооружений электростанций и инструкция по его заполнению», ГОСТ Р 22.1.12-2005, ГОСТ 319-37-2011, ГОСТ Р 54859-2011.

На основе сейсмометрического метода была разработана методика мониторинга технического состояния плотин и мостовых сооружений по изменению динамических характеристик. По результатам обследования плотин ГЭС и мостов были обоснованы параметры аппаратуры для мониторинга и регистрации землетрясений, выбор схем наблюдения по результатам сейсмометрического обследования и нормативным документам и т.п.

Методика мониторинга была апробирована на плотине Красноярской ГЭС. В 2010 г. была разработана и установлена автоматизированная система регистрации землетрясений и мониторинга технического состояния плотины Красноярской ГЭС (разработка аппаратная часть КТИ ВТ СО РАН, программная ЮНИИИТ) [8]. По результатам работы системы опубликованы статьи, в которых представлены подробно результаты исследования уровня вибраций плотины в зависимости от количества функционирующих агрегатов [9], исследованы сезонные изменения динамических характеристик плотины в зависимости от УВБ, средней температуры воздуха и т.п. [10].

На примере данных обследования плотины Саяно-Шушенской ГЭС подробно рассмотрен вопрос идентификации форм собственных колебаний плотин. Обоснована необходимость осуществления обязательного первичного обследования плотин при минимальном и максимально уровне верхнего бьефа (УВБ) для идентификации частот собственных форм по основным осям сооружения (трем взаимно перпендикулярным направлениям) [6].

Учитывая длительный опыт работы, следует отметить основные допускаемые ошибки при проведении сейсмометрических обследований и мониторинга зданий и сооружений:

– устанавливаются системы мониторинга без первичного обследования по плотной сетке наблюдения, что не позволяет произвести идентификацию частот форм собственных колебаний объекта по небольшому количеству стационарных пунктов наблюдения;

– за первый годовой цикл наблюдений не проводится изучение сезонных изменений динамических характеристик здания или сооружения в зависимости от температуры окружающего воздуха, промерзания грунта, льда на реке, изменения УВБ (для плотин), которые влияют на граничные условия в основании сооружения и свойства материалов;

– используется непрерывный режим записи колебаний сооружения, в чем нет необходимости, что приводит через несколько лет к большому объему регистрационных записей, сохранность которых нужно поддерживать (перенос данных на новые накопители), на случай ЧС предложено осуществлять непрерывную регистрацию микроколебаний объекта в течение заданного оператором времени с последующим удалением;

– при разработке мобильных и стационарных сейсмометрических систем наблюдения не используются фильтры нижних частот, выбирается частота оцифровки сигнала не кратная 2^n , что приводит к трудностям обработки сигналов с использованием быстрого преобразования Фурье (необходимости выбора дробного времени сеанса регистрации и т.п.), используется небольшой набор коэффициентов усиления, что приводит к зависимости точности расчета передаточных функций от пунктов наблюдения.

Вопросы, требующие решения при дальнейшем развитии метода:

1. Выбор аналитических замещающих моделей для зданий и сооружений различного назначения и методов решения обратной спектральной задачи.

2. Определение границ изменения динамических и упругих характеристик объекта, превышение которых требует капитального ремонта или вывода из эксплуатации и внесение этих параметров в соответствующие нормативные документы.

Литература

1. Пат. 2140625 Российская Федерация, МПК7 G01M 7/00. Способ определения физического состояния зданий и сооружений / В.С. Селезнёв, А.Ф. Еманов, В.Г. Барышев, А.П. Кузьменко; заявл. 17.02.98, опубл. 27.10.1999.
2. Пат. 2150684 Российская Федерация, МПК7 G01M 7/00. Способ приведения к единому времени регистрации разновременных записей измерений / В.С. Селезнёв, А.Ф. Еманов, А.П. Кузьменко, В.Г. Барышев, В.С. Сабуров // заявл. 26.08.98, опубл. 10.06.2000.
3. Сабуров В.С., Кузьменко А.П. Обследование зданий повышенной этажности. Инженерно-сейсмометрический метод. LAMBERT Academic Publishing, 2013, 184 с.
4. Кузьменко А.П., Сабуров В.С. Обследование плотин гидроэлектростанций. Инженерно-сейсмометрический метод (часть 1). [Электронный ресурс]: Монография. Новосибирск : ИВТ СО РАН, 2017. 206 с. (ISBN 978-5-9905791-4-9).
5. Кузьменко А.П., Сабуров В.С. Определение упругих свойств бетона плотин ГЭС по скоростям сейсмических волн // Известия ВНИИГ им Б.Е. Веденеева. 2006. Т. 245. С. 259-269.
6. Кузьменко А.П. Сабуров В.С. Идентификация форм собственных колебаний при сейсмометрическом обследовании и мониторинге плотин ГЭС // Гидротехническое строительство. 2016. № 2. С. 28-40.
7. Ахтямов А.М. Теория идентификации краевых условий и ее приложения. М. : Физматлит, 2009. 272 с.

8. Автоматизированная система регистрации землетрясений и мониторинга технического состояния плотин гидроэлектростанций / А.П. Кузьменко, Е.П. Золотухин, А.П. Епифанов, Н.Г. Кузьмин // Гидротехническое строительство. 2011. № 12. С. 28-34.
9. Контроль уровня вибраций плотины Красноярской ГЭС по данным системы мониторинга / А.П. Кузьменко, В.С. Сабуров, Д.Б. Короленко, Н.Г. Кузьмин // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2015. Т. 275. С. 24-32.
10. Динамические характеристики колебаний плотины Красноярской ГЭС / А.П. Кузьменко, В.С. Сабуров, А.П. Епифанов, Н.Г. Кузьмин // Гидротехническое строительство. 2010. № 2. С. 28-34.

УДК 628.336

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Кулагин В.А., Курилина Т.А., Дубровская О.Г., Матюшенко А.И.
ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Одним из источников загрязнения окружающей среды вредными веществами и в первую очередь тяжелыми металлами, являются гальванические производства. Вопросы предотвращения загрязнения водоемов сточными водами, содержащими ионы тяжелых металлов, тесно связаны с разработками мероприятий по сокращению потребления свежей воды на технологические нужды производства и уменьшению количества сбрасываемых стоков. Одним из путей решения данной проблемы является создание малоотходных и безотходных экологически безопасных технологических процессов очистки сточных вод с использованием очищенных стоков в оборотном цикле [1], что приводит к снижению негативного воздействия на окружающую природную среду.

Современное состояние проблемы

Сорбционное извлечение металлов является одним из эффективных методов очистки стоков гальванического производства, эффективность сорбционной очистки в зависимости от применяемого сорбента составляет 80-95%. Сорбционный метод очистки сточных вод с использованием природных сорбентов известен давно, однако, существует большой класс природных сорбентов – минералов, которые из-за недостаточной изученности не нашли широкого применения [2-6]. Между тем, высокие сорбционные свойства, дешевизна, распространенность в природе делают их экономически целесообразным сырьем в технологиях очистки производственных сточных вод. Применение природных материалов в очистке сточных вод приемлемо с экологической и экономической точки зрения, но зачастую такие материалы не обладают нужными сорбционными свойствами и их необходимо термически модифицировать. В результате модифицирования получается сорбенты с отличной от исходного минерала природной поверхностью и сочетающие в себе полезные свойства исходного материала и синтетических сорбентов [7]. Поэтому, поиск эффективных и экономически выгодных природных сорбентов для интенсификации очистки сточных вод является актуальной проблемой [8, 9].