

ках операционной деятельности. Все они были идентифицированы благодаря применению расчетных методов и компьютерного моделирования пешеходного движения с учетом объемно-планировочных характеристик стадионов и иных значимых исходных данных, получены качественные и количественные (время, плотность, интенсивность) характеристики процессов.

Идентификация таких особенностей на этапе подготовки к проведению игр ЧМ 2018 позволяет спланировать действия по устранению и/или спланировать организационные меры по минимизации потенциальных угроз, проверить с помощью моделирования их обоснованность, подготовить инструкции по действиям стюартам, волонтерам, полиции, МЧС и др., обучить соответствующие группы лиц особенностям объекта и мерам по их сглаживанию для комфорта и безопасности зрителей.

Так же важным является отработка действий в случае ЧС. Знание особенностей объекта, наличие разработанных сценариев с известными временными оценками являются необходимым условием своевременного реагирования, залогом максимального снижения возможных негативных последствий ЧС для жизни и здоровья людей.

УДК 004.04:550.34

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОТИН ГЭС

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

Введение. Старение зданий и сооружений, влияние техногенных факторов, землетрясений – все это может привести к разрушениям и авариям на ответственных сооружениях, и как следствие – жертвам и большому материальному и экологическому ущербу. Поэтому важной задачей является организация мониторинга, позволяющем оперативно получать информацию о текущем техническом состоянии гидротехнических сооружений (ГТС).

В соответствии с [1-3] для ГТС первого класса в районах с сейсмичностью 7 баллов и выше, и на сооружениях второго класса – в районах с сейсмичностью 8 баллов и выше необходимо проводить инженерно-сейсмометрические наблюдения за работой сооружения и береговых примыканий. Для этого гидротехнические сооружения должны быть оборудованы автоматизированными приборами и комплексами, позволяющими регистрировать кинематические характеристики в ряде точек сооружений и береговых примыканий во время землетрясений при сильных движениях земной поверхности, а также оперативно обрабатывать полученную информацию. После каждого сейсмического толчка интенсивностью 5 баллов и выше должны оперативно регистрироваться показания всех видов КИА, установленных в сооружении, с осмотром сооружения и анализом его прочности и устойчивости.

Кроме того, в соответствии с [4-6] для контроля состояния ГТС и их оснований среди основных диагностических показателей должны отслеживаться динамические характеристики – параметры, характеризующие динамические свойства объекта, проявляющиеся при динамических нагрузках и отражающие техническое состояние строительной конструкции в целом (частоты и формы собственных колебаний, декременты затухания колебаний, статистические и диссипативные характеристики и др.).

Для оценки технического состояния плотин ГЭС в описываемой системе используется способ измерения динамических характеристик конструкций под воздействием эксплуатационных динамических нагрузок от функционирующего оборудования [7-9].

Предварительно, на этапе проектирования системы осуществляется обследование плотины ГЭС, при котором осуществляется регистрация микросейсмических колебаний по плотной сетке наблюдений и идентификация форм и частот собственных колебаний [10]. Для последующего мониторинга выбирается ограниченное число пунктов наблюдения, позволяющие наилучшим образом идентифицировать заданное число первых частот и форм колебания.

Следует отметить, что изменение внешних воздействий (уровень напора, температурный фактор и др.) на плотину может давать такую же картину, что и изменение технического состояния объекта. Поэтому при осуществлении контроля состояния здания или сооружения по динамическим характеристикам необходимо выделять сезонные (обратимые) и необратимые изменения динамических параметров в процессе эксплуатации.

Для повышения эффективности, как самой системы сейсмометрического мониторинга, так и системы контроля технического состояния ГЭС в целом, в описываемой авторами системе были совмещены задачи регистрации сейсмических событий и мониторинга технического состояния по динамическим характеристикам на одной системе наблюдений, использующей одни и те же технические и программные средства [11].

В 2009 году специалистами ИВТ СО РАН и ЮНИИ ИТ была разработана и установлена на плотине Красноярской ГЭС автоматизированная система регистрации землетрясений и мониторинга технического состояния плотины (ПАК-МЗ) [11-13]. Автоматизированная система была запущена в эксплуатацию в марте 2010 года, после чего производились ее расширение и модернизация. Восьмилетний опыт эксплуатации данного комплекса явился основой для разработки новой усовершенствованной системы сейсмометрического мониторинга, установленной в 2018 году на Зейской ГЭС.

Структура системы. Информационная система сейсмометрического мониторинга технического состояния плотин ГЭС имеет трех уровневую структуру (рис.):

– нижний уровень – пункты сбора информации – полевые модули с трехкомпонентными датчиками, усилителями, фильтрами (ФНЧ), АЦП и линией связи с сейсмометрической станцией;

– средний уровень – пункт сбора информации – телеметрическая сейсмометрическая станция, обеспечивающая управление и сбор данных с полевых модулей, передачу данных по оптоволоконной линии связи на сервер;

– верхний уровень – информационно-обрабатывающий центр сейсмометрического комплекса (сервер и автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора).

Программное обеспечение системы включает программу управления и функционирования сейсмометрической станции, программы регистрации сейсмических событий и микросейсмических колебаний, установленные на сервере и на АРМ оператора, программы обработки записей микросейсмических колебаний для определения и контроля динамических характеристик сооружения, установленные на АРМ оператора.

Функциональные требования. На основе анализа нормативных документов, существующих систем сейсмометрического мониторинга были определены следующие основные функциональные требования:

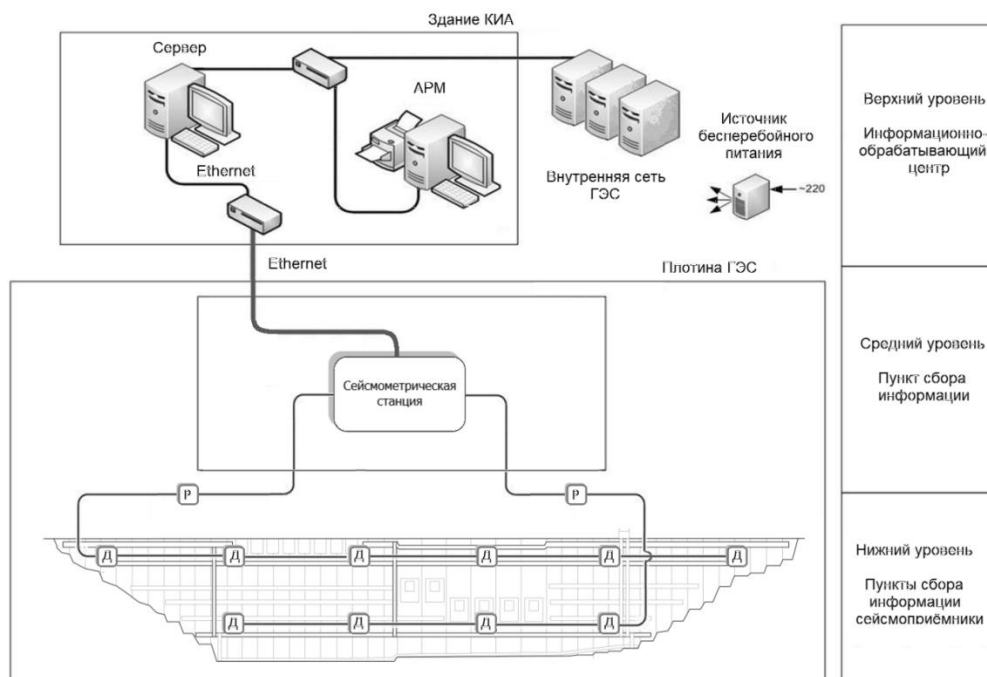


Рис. Блок схема структуры информационной системы сейсмометрического мониторинга технического состояния плотин ГЭС

- конфигурация работы измерительных каналов, системы;
- автоматическая регистрация сейсмических событий с оценкой интенсивности;
- плано-периодическая регистрация микросейсмических колебаний объекта;
- непрерывная запись колебаний объекта;
- оповещение ответственных лиц о сейсмических событиях и неполадках системы;
- хранение данных сейсмометрического мониторинга, зарегистрированных сейсмических событий и информации о функционировании системы;
- обработка микросейсмических данных и определение динамических характеристик сооружения;
- анализ изменения динамических характеристик с учетом внешних факторов, влияющих на их изменение, контроль уровня вибраций;
- ведение журнала действий оператора и работы системы.

Программа регистрации сейсмических событий и микросейсмических колебаний. Данная программа выполнена на базе клиент-серверной архитектуры и состоит из двух компонентов: программы «сервер» и программы «клиент». Серверный компонент обеспечивает взаимосвязь с аппаратурой, получение данных, хранение и их обработку. Клиентский компонент обеспечивает интерфейс взаимодействия с пользователем, конфигурацию системы, представление задач и результатов системы в наглядном виде.

Программа «сервер». Система сейсмомониторинга работает в двух режимах:

- основной – выделение и регистрация сейсмических событий с оценкой их воздействия на сооружение;
- дополнительный – регистрация микросейсмических колебаний по заданному оператором расписанию мониторинга технического состояния сооружения.

Кроме того, система осуществляет непрерывную запись колебаний объекта для сохранения предыстории события на случай ЧС, сохраняя не менее 7-ми суток записи микросейсмических колебаний.

Программа «сервер» получает пакеты данных от сейсмостанции с помощью библиотеки, зависящей от используемой аппаратуры. При получении очередного пакета осуществляется синхронизация данных (при необходимости), приведение к универсальному виду в системе (не зависящему от типа аппаратуры) и буферизация для сохранения предыстории сейсмического события (поддержание стека не менее 80 секунд последних данных) и дальнейшего анализа сигнала в соответствии с алгоритмом STA/LTA. Кроме того, если при этом идет запись сеанса мониторинга и/или непрерывная запись колебаний, то пакет данных передается для записи в соответствующий файл. Анализ данных колебаний на обнаружение признака сейсмического события также осуществляется и во время сеанса мониторинга по измерительным каналам датчиков, расположенных в тихих местах (например, в береговых примыканиях плотины ГЭС, в основании сооружения). По завершению записи файла сейсмического события по максимальным ускорениям в пунктах наблюдения, расположенных в тихих местах в соответствии со шкалой MSK-64 производится предварительная оценка интенсивности сейсмического события.

При регистрации сейсмического события осуществляется оповещение ответственного персонала в соответствии со сформированным списком по электронной почте и SMS. При этом, помимо контактных данных для каждого лица указывается минимальный порог интенсивности события, после которого будет осуществляться оповещение. Также оповещение осуществляется при неполадках системы.

Для осуществления плано-периодического мониторинга технического состояния оператор должен составить в программе «клиент» план, согласно которому будут запускаться сеансы записи микросейсмических колебаний сооружения. Обычно рекомендуется выполнять мониторинг два раза в сутки (ночью и днем).

В соответствии с составленным планом программа «сервер» определяет время ближайшего сеанса мониторинга, устанавливает необходимые параметры конфигурации измерительных каналов из профиля мониторинга (предусиление, усиление) и запускает регистрацию микросейсмических колебаний. После завершения записи сеанса мониторинга для измерительных каналов устанавливаются значения параметров конфигурации из профиля регистрации сейсмических событий. Для датчиков, расположенных в тихих местах коэффициенты усиления для измерительных каналов не меняются.

Программа «клиент». Программа «клиент» выполняет аутентификацию пользователей в системе и осуществляет доступ пользователя к выполнению тех или иных действий в соответствии с его правами. В программе предусмотрены две роли: администратор и оператор. Конфигурация сейсмических регистраторов/станции, изменение плана мониторинга и др. настройки системы доступны администратору. Оператору доступен только просмотр информации.

Конфигурация сейсмостанции включает в себя сетевые параметры подключения, включение/выключение устройства, частоту оцифровки и другие параметры, специфичные для каждого конкретного типа устройства. Для измерительного канала указываются и задаются: включение/выключение канала, компонента, название датчика, параметры установки датчика на сооружении, КЭМС канала, предварительное и основное усиление (текущее значение, для профиля регистрации сейсмических событий и мониторинга), триггер начала события, триггер окончания события (детриггер), а также выбор, установлен ли датчик данного канала в тихом месте.

Конфигурация модуля плано-периодического мониторинга включает в себя составление плана – расписания сеансов мониторинга, а также параметры продолжительности сеанса мониторинга, путь сохранения файлов записи данных на сервере и другие.

Для визуального контроля функционирования системы и сооружения ведется отображение текущего сигнала и его спектра по измерительным каналам. Кроме того, программа «клиент» предоставляет отображение уровней вибрации в основных осях сооружения, приведенных к максимальному значению амплитуды в соответствии с выбранной интенсивностью в баллах по шкале MSK-64.

Отображение сообщений о действиях оператора, регистрируемых землетрясениях, возникновении ошибок и неполадок и о других важных событиях функционирования сейсмометрической подсистемы осуществляется в журнале событий.

Файлы записи хранятся на сервере в едином внутреннем формате и скачиваются с помощью программы «клиент» в выбранном оператором формате для дальнейшей обработки, определения и анализа изменения динамических характеристик сооружения в специализированных программах. Программа поддерживает как форматы собственной разработки ИВТ СО РАН (cibf, geoton), так и широко распространённый формат сейсмологических данных css 3.0. Кроме того, подробная информация о зарегистрированных событиях предоставляется при составлении отчета за выбранный промежуток времени.

Мнемосхема сооружения отображает всю основную информацию: отображение датчиков и их состояния, текущей конфигурации и сейсмограмм измерительных каналов, а также список последних сообщений в системе.

При запуске программы «клиент» устанавливается связь с сервером, выполняется запрос актуальной конфигурации сейсмической станции и измерительных каналов, списка последних событий, конфигурации системы.

Обработка записей колебаний. Мониторинг технического состояния осуществляется по данным обработки записей сеансов микросейсмических колебаний. С помощью специализированных программ (например, программы «Сейсмотекс», разработанной в ИВТ СО РАН) по регистрационным записям во множестве точек измерения вычисляются статистические параметры колебаний (пик-фактор, дисперсия, частота процесса и др.) и комплексные передаточные функции, по спектрам которых выделяются значения собственных частот конструкции. Полученные динамические характеристики экспортируются в файлы Microsoft Excel для последующего анализа. Анализ динамических характеристик с учетом внешних воздействий позволяет оценивать изменение технического состояния конструкции плотины ГЭС [12, 13].

Для анализа записи землетрясения используются специализированные программы, такие как, например, программа «WSG», разработанная Единой Геофизической службой РАН. При этом осуществляется оценка реакции плотины на сейсмическое воздействие, определяются ускорения и перемещения на гребне плотины и в основании, статистические характеристики и др.

Литература

1. СТО РусГидро 02.01.80–2012 «Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Правила эксплуатации. Нормы и требования».
2. СТО 70238424.27.140.032-2009 «Гидроэлектростанции в зонах с высокой сейсмической активностью. Геодинамический мониторинг гидротехнических сооружений. Нормы и требования».
3. ВСН 42-70 «Временные указания по организации и проведению инструментальных наблюдений за колебаниями высоких плотин при землетрясениях».
4. ГОСТ Р22.1.12-2005 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. Введ. 15.09.2005 г. М.: Изд-во стандартов, 2005 г.

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,