

УДК 550.34.034

Использование регистраторов «Байкал–8» для сейсмического мониторинга зданий и сооружений в режиме реального времени в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН

© 2022 г. А.А. Брыксин, П.В. Громыко, Д.Б. Севостьянов

СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 15.08.2022 г.

Аннотация. Описан состав аппаратной и программной частей комплекса передачи сейсмических данных. Комплекс разработан как вариант практического подхода к внедрению метода инженерно-сейсмического мониторинга, разрабатываемого в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН. Метод основан на спектральном и количественном анализе амплитудно-частотных составляющих сигнала, излучаемого изучаемыми источниками. Приведены примеры эксплуатации комплекса на промышленных объектах и в гражданском строительстве, показаны различные подходы к анализу выделенных с помощью комплекса вынужденных колебаний, вызванных работой крупного промышленного оборудования и собственных колебаний сооружений.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, сейсмический сигнал, мониторинг.

Для цитирования: Брыксин А.А., Громыко П.В., Севостьянов Д.Б. Использование регистраторов «Байкал-8» для сейсмического мониторинга зданий и сооружений в режиме реального времени в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 3. – С. 68–80. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.3.06>. EDN: SWBQCI

Введение

В работах, посвящённых развитию метода инженерно-сейсмического мониторинга, разработанного в ФИЦ ЕГС РАН [Селезнев и др., 2012] и основанного на результатах исследований по изучению динамических воздействий, возникающих при работе крупного промышленного оборудования [Лисейкин и др., 2016; 2017; 2019], был разработан способ мониторинга технического состояния сооружений, основанный на слежении за изменением его собственных частот, и способ осуществления дистанционного контроля над вибрационным состоянием промышленного оборудования по данным, полученным с сейсмических станций, удалённых на несколько километров от объекта исследования.

Полученные результаты привели к идее создания комплекса инженерно-сейсмологического мониторинга в Новосибирске. Было принято решение о реализации под Новосибирским Академгородком сети сейсмических наблюдений, направленной на выделение и изучение монохроматических сигналов от различных техногенных источников, расположенных на территории

г. Новосибирска для проведения дистанционного инженерно-сейсмологического мониторинга (контроля) потенциально опасных объектов и особо важных инженерно-технических сооружений, зданий, расположенных на территории г. Новосибирска (и части Новосибирской области). В планы входило создание системы предупреждения техногенных аварий через своевременную передачу информации о состоянии контролируемых объектов органам исполнительной власти, территориальным органам МЧС, органам Ростехнадзора.

Новосибирск и все крупные города в сейсмическом отношении можно представить как большое количество работающих монохроматических или изменяющихся во времени по частоте источников сейсмических колебаний: это различные механизмы (двигатели, турбины, генераторы, агрегаты, крупные промышленные установки и пр.). Все здания и сооружения (плотины, мосты, высотные здания и пр.) также являются источниками сейсмических волн на частотах, равных собственным частотам колебаний. Основная опасность возникает при совпадении собственных частот зданий и сооружений

с частотами, излучаемыми различными механизмами и установками, тогда возникает риск резонансных возбуждений и образуются такие колебания, которые могут приводить к обрушениям конструкций, крупным техногенным авариям и прочим подобным катастрофам с человеческими жертвами.

Кроме того, посредством сейсмической сети наблюдений становится возможным дистанционное техническое обследование ответственных зданий и сооружений, это новый и наиболее эффективный способ слежения за изменением их физического (технического) состояния через контроль их собственных частот с большого расстояния от обследуемого объекта. Он позволяет дистанционно (и потому не затратно) следить за динамикой собственных частот зданий и сооружений, на ранней стадии выявлять их отклонения и уже после обнаружения изменений в амплитудно-частотных характеристиках излучаемого объектом сигнала на месте проводить дальнейшее детальное (более дорогостоящее) обследование объекта традиционными методами или сейсмометрическими, включая метод стоячих волн, разработанный и запатентованный ФИЦ ЕГС РАН, и таким образом локализовывать места изменения напряжённо-деформационного состояния строительных конструкций, диагностировать их предельное состояние, усталостные явления в материале, наклоны (крены) и иные характеристики безопасности зданий и сооружений, благодаря чему выявлять аварийные участки и узлы и предотвращать их разрушение.

На сегодняшний день существует обширный выбор систем мониторинга инженерных конструкций, основывающихся на применении визуальных, геодезических, сейсмологических и т.п. подходах [ГОСТ Р 22.1.12-2005, 2005; ГОСТ Р 22.1.14-2013, 2014] и пригодных для решения вышеописанных задач. Наиболее известные

организации, специализирующиеся на производстве данных систем в России, это ООО «ЭТМС» (ZetLab), Guralp Systems Ltd., ООО «НТП «Горизонт», ООО «МОНСОЛ РУС» и другие.

Ввиду вышесказанного, для реализации поставленных задач в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН было решено разработать недорогой и компактный комплект сейсмического оборудования, комплекса онлайн-передачи данных и программного обеспечения.

1. Комплекс онлайн-передачи данных

Современные технологии развития цифровых сетей связи и сейсмических регистраторов дают возможность реализовать передачу сейсмических данных с места их записи на сервер СЕФ ФИЦ ЕГС РАН в режиме, близком к реальному времени.

Специалистами филиала разработаны программное обеспечение и аппаратная конфигурация мобильного комплекса (далее – Комплекс), позволяющего получать на удалённом сервере записи сейсмических сигналов от входящей в его состав сейсмостанции в формате miniSeed посредством коммуникационной среды Интернет и сетевой инфраструктуры организации. Реализованное решение является малогабаритным, для его функционирования требуется подключение к электросети и обеспечение доступа в Интернет (проводное или через стандартный модем оператора связи).

Принципиальная схема Комплекса приведена на рис. 1.

Аппаратная часть Комплекса, устанавливаемая непосредственно в точке регистрации, состоит из следующих компонентов:

– сейсмический датчик (используются низкочастотные велосиметры, произведённые в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН на базе GD-4.5, GD-10 [Specification ..., 2022]);

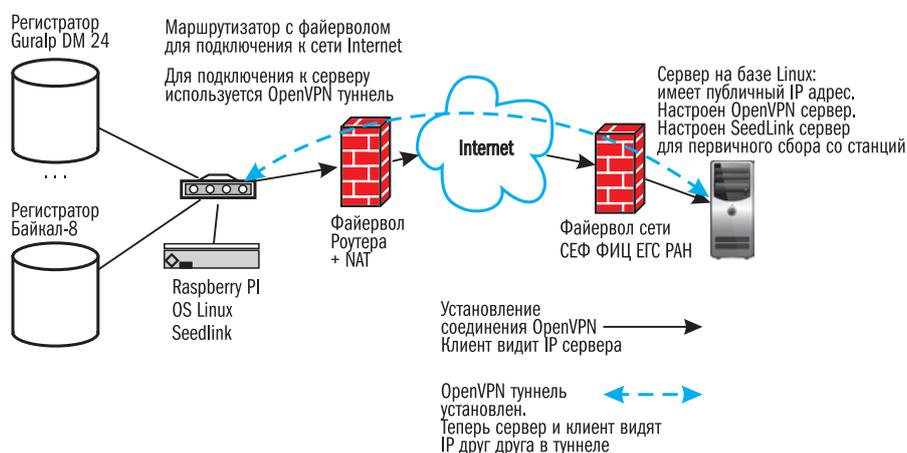


Рис. 1. Архитектура разработанного Комплекса

– регистратор Байкал-8 – сетевой мобильный 6-канальный регистратор с высококачественным аналого-цифровым трактом с записью и передачей данных в составе проводных и беспроводных сетей Ethernet. Предназначен для построения стационарных или быстроразвёртываемых мобильных сетей наблюдений [Байкал-8 ..., 2022] (рис. 2а);

– микрокомпьютер Raspberry Pi (рис. 2б);

– роутер для организации локальной сети и доступа в Интернет.

Использование универсального роутера позволяет получить доступ к сети передачи данных через любое возможное подключение – DSL, Ethernet или модем доступного оператора связи – без нарушения внутренней организации локальной сети (регистратор и микрокомпьютер), что обеспечивает мобильность Комплекса. Следует дополнительно отметить, что с одним роутером при необходимости могут одновременно работать несколько регистраторов и микрокомпьютеров.

Микрокомпьютер Raspberry Pi работает под управлением ОС Seismobian, разработанной на базе стандартного дистрибутива Linux (RaspiOS). В операционную систему включены средства, позволяющие:

- организовать туннель (VPN) между микрокомпьютером и центром сбора данных;
- проводить сбор данных с регистратора;
- обеспечивать временное (циклическое) хранение собранных данных во внутренней памяти;
- по запросу основного сервера VPN передавать накопленные данные в центр сбора данных.

Использование стандартного решения позволяет, в случае необходимости, осуществить

быструю замену вышедшего из строя оборудования. На рис. 2в представлена аппаратная часть комплекса в сборе.

В нормальном режиме (при условии непрерывной связи с основным сервером) сейсмические данные передаются с задержкой в 1–2 с, что позволяет считать Комплекс работающим в режиме, близком к реальному времени. При возникновении проблем с каналом передачи данных информация буферизируется и после восстановления соединения вновь передаётся в основное хранилище данных.

Основной сервер VPN, также выполняющий роль центра сбора данных, установлен в серверном помещении СЕФ ФИЦ ЕГС РАН (совместно с АСФ ФИЦ ЕГС РАН) и построен на базе системного блока под управлением ОС Linux. Сервер обеспечивает непрерывный опрос микрокомпьютеров, доступных в туннелях VPN по протоколу seedlink, и формирует файловую структуру данных, полученных с сейсмостанций, в формате miniSeed.

Доступ к серверу и запрос данных возможны как с помощью ПО Seisgram2K (для получения волновых форм в режиме, близком к реальному времени), так и стандартными средствами протокола SMB для изучения архивных данных

Особенностью комплекса является возможность удалённо проводить настройки микрокомпьютера и регистратора.

Следует отметить, что доступ к данным разрешён только авторизованным пользователям в рамках протокола VPN, что позволяет обеспечить необходимый уровень безопасности при удалённой работе специалистов организации.

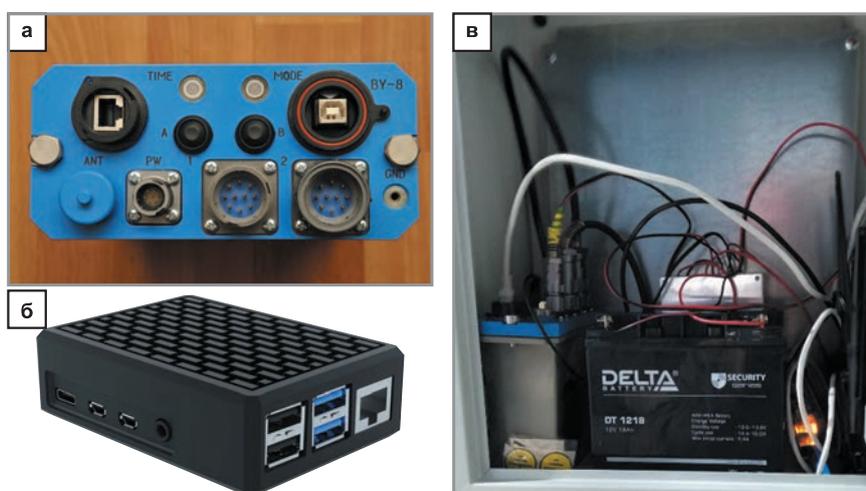


Рис. 2. Регистратор «Байкал-8» (а), микрокомпьютер Raspberry Pi (б), и пример аппаратной части комплекса в сборе (в)

На сервере организован специальный сервис, который позволяет отслеживать поступление данных (задержки буферизации и актуальность информации) в режиме, близком к реальному времени (рис. 3).

В течение двух последних лет СЕФ ФИЦ ЕГС РАН осуществил закупку восьми новых

комплектов оборудования для мобильных комплексов, интегрировал на сервер сбора информации станции из Камчатского филиала, приступил к сотрудничеству с ИВМиМГ СО РАН для регистрации данных со скважины этой организации (таблица).

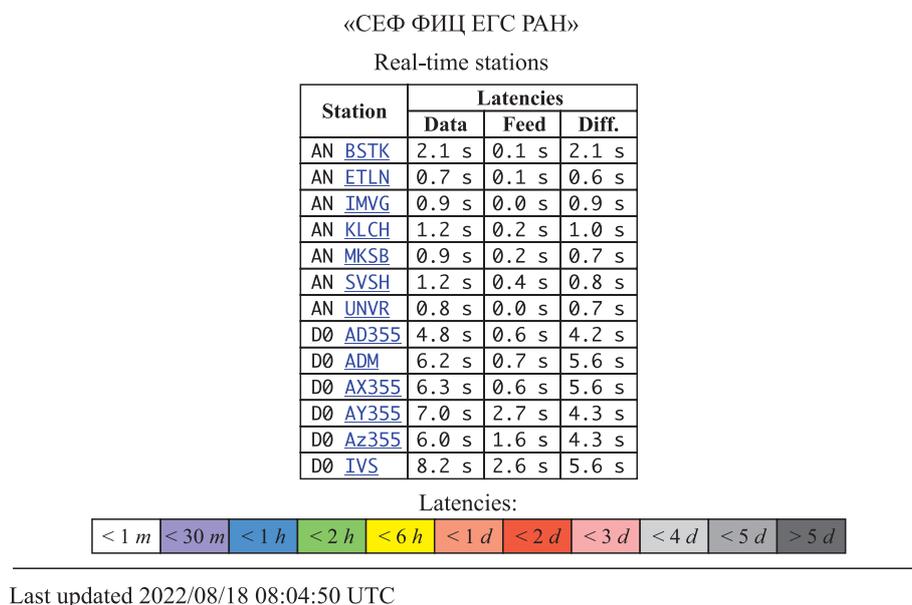


Рис. 3. Монитор слежения доступности подключённых станций

Таблица. Перечень сейсмических станций на сервере сбора информации и их описание

№	Код станции	Место установки, принадлежность и назначение
1	BSTK	Новосибирская обл., полигон «Быстровка», АСФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг НГЭС
2	ETLN	г. Новосибирск, СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания
3	IMVG	г. Норильск, дворец культуры ПАО «Норникель», СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания
4	KLCH	Новосибирская обл., сейсмостанция «Ключи», СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг сооружения
5	KZBS	г. Междуреченск, вентилятор главного проветривания (ВГП) шахты «Распадская-Коксовая», СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг оборудования
6	MKSB	г. Новосибирск, скважина ИВМиМГ СО РАН, ИВМиМГ СО РАН, наблюдение
7	RSPD	г. Междуреченск, ВГП шахты «Распадская-Коксовая», СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг оборудования
8	SFGS	г. Междуреченск, ВГП шахты «Распадская-Коксовая», СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг оборудования
9	SVSH	г. Новосибирск, СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания
10	UNVR	г. Новосибирск, СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания
11	AD355	г. Петропавловск-Камчатский, КФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания
12	ADM	г. Петропавловск-Камчатский, КФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания
13	AX355	г. Петропавловск-Камчатский, КФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания
14	AY355	г. Петропавловск-Камчатский, КФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания
15	AZ355	г. Петропавловск-Камчатский, КФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания
16	IVS	г. Петропавловск-Камчатский, КФ ФИЦ ЕГС РАН, мониторинг здания

В качестве программы для анализа спектров сейсмических данных использована программа SpectrumSeism [Селезнев и др., 2021]. Программа позволяет создавать 2D-спектрограммы, а также спектры на указанной трассе. Для пользователя доступен набор инструментов для изучения спектральных особенностей данных, включая расширенные режимы визуализации и экспорта для дальнейшей работы со сторонним программным обеспечением. Благодаря использованию современных алгоритмов, реализована возможность быстрого анализа зависимости амплитуды частоты от времени с любой заданной точностью, позволяющего обрабатывать большие объёмы данных в режиме, близком к реальному времени.

2. Результаты работы Комплекса

2.1. Мониторинг вращательных механизмов

В результате анализа данных, зарегистрированных Комплексом во время мониторинга работы главных нагнетательных вентиляционных установок шахты «Распадская-Коксовая» № 1 и № 2 (далее ВУ-1, ВУ-2) (рис. 4), определены основные характеристики колебаний, связанных с их работой [Громыко, 2021]. Сигналы, излучаемые установкой, имеют вид монохроматических колебаний с постоянными частотами, кратными оборотной частоте вращения установки (12.5 Гц оборотная частота), у которых абсолютные значения амплитуд различаются (рис. 5а).



Рис. 4. Главная нагнетательная вентиляционная установка шахты «Распадская-Коксовая»

Создана новая методика обработки и анализа регистрируемых трёхкомпонентных колебаний, основанная на интерпретации пересчитанных в сферическую систему координат параметров R , θ и φ [Громыко, 2021]. В работе показано, что с изменениями различных факторов, влияющих

на работу вентиляционной установки (давление, режимы работ, поток воздуха и т.д.), происходит изменение данных параметров и их стабилизация на определённом уровне, что даёт возможность, набрав статистику, создать систему контроля состояния любого вращающегося оборудования.

На рис. 5б показан пример графика колебаний на оборотной частоте, зарегистрированных в точке наблюдения во время переходных процессов включения-отключения вентиляционных установок. Из графиков видно, что со временем происходит процесс стабилизации в плоскости θ – φ , где колебания фокусируются в определённых зонах. Колебания стабилизируются примерно через 6 ч в областях θ – 60 – 90° , φ – 5 – 20° . Набрав вышеописанным способом статистические данные для каждого из набора монохроматических колебаний, излучаемых установкой, характеризующие стабильную работу вентиляционных установок, предлагается выдвинуть критерии для прогнозирования неисправностей в механизмах или потенциально опасных для работающего оборудования ситуаций.

2.2. Удалённый мониторинг техногенных источников

В результате анализа данных, зарегистрированных Комплексом, установленным в посёлке Каменушка, удалось выделить техногенные колебания, вызванные Новосибирской гидроэлектростанцией (далее НГЭС) на удалении 16 км [Коквин и др., 2021]. Полученные данные сопоставлялись с результатами регистрации сейсмической станции «НГЭС» (NHES) Алтае-Саянского филиала ФИЦ ЕГС РАН, расположенной вблизи от Новосибирской ГЭС (500 м). Станция NHES оснащена трёхкомпонентным широкополосным высокочувствительным сейсмометром Guralp CMG-3ESPД. Ориентация осей соответствует станции «Ключи» (таблица). Схема расположения сейсмостанций и Новосибирской ГЭС представлена на рис. 6.

На рис. 7а,б представлены спектры сигналов, зарегистрированных на сейсмостанциях «НГЭС» и «Ключи». Из рисунка видно, что в спектрах присутствует монохроматический сигнал с частотой 5.2 Гц . На станции «НГЭС», ввиду её малой удалённости, исследуемый сигнал имеет наиболее высокие значения. Также в спектре видны кратные для оборотной (1.04 Гц) частоты. На рис. 7в представлены графики изменения амплитуд Z -компоненты колебаний на частоте 5.2 Гц , полученные с записей сейсмостанции «НГЭС» (синий) и «Ключи» (оранжевый),

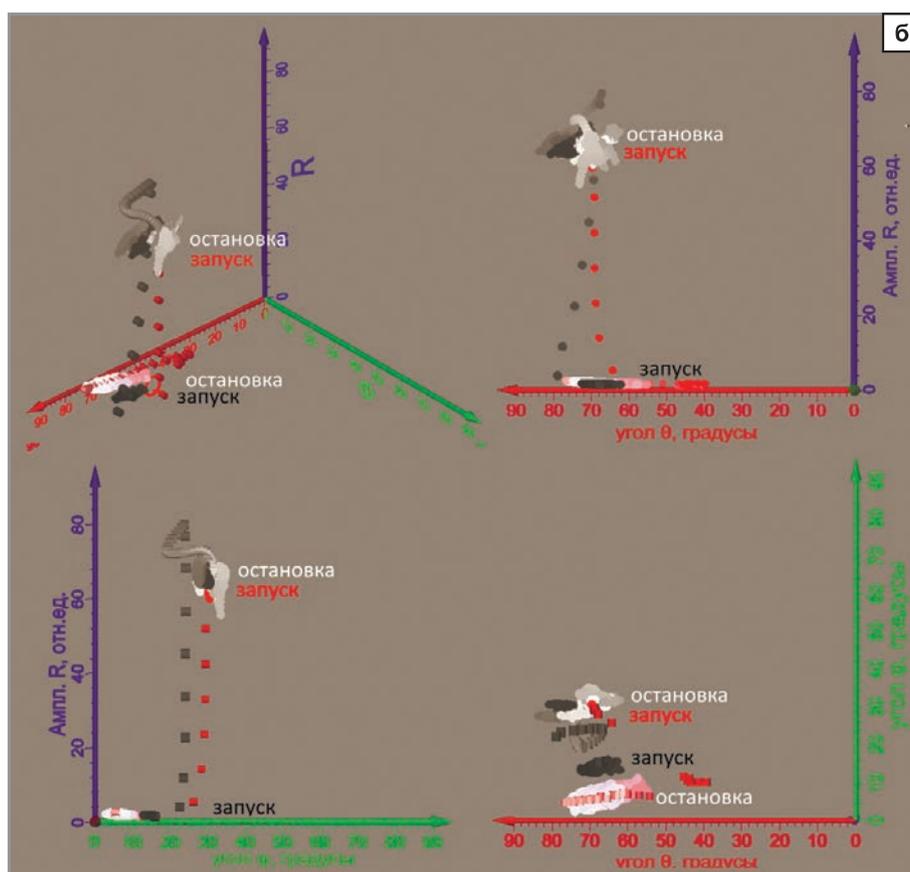
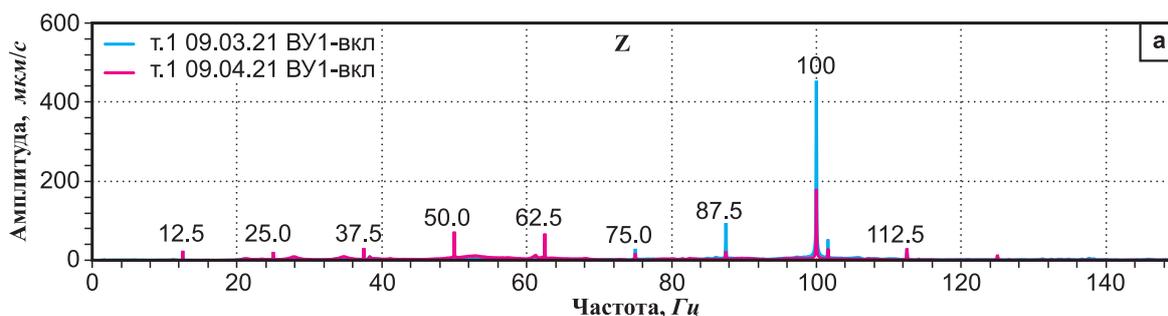


Рис. 5. Спектры записи в точке наблюдения возле ВУ-1 в период её работы (а), и графики изменения амплитуд колебаний на частотах, кратных оборотной частоте вентиляционной установки, зарегистрированных комплексом (б). Z-компонента

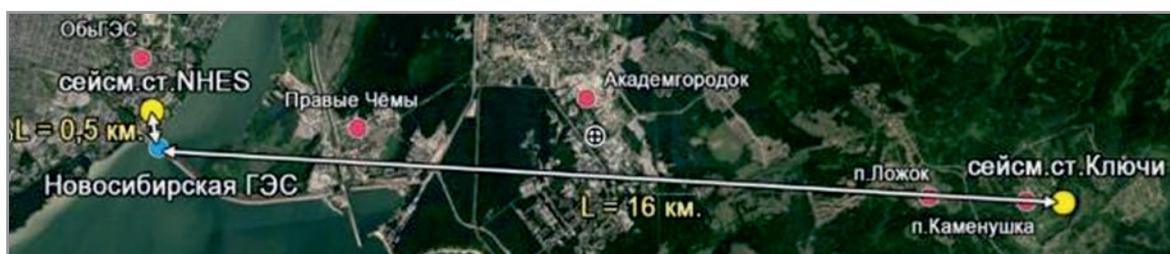


Рис. 6. Схема расположения сейсмостанций «Ключи», «НГЭС» и Новосибирской ГЭС

в период с 15 по 22 января 2021 года. Наблюдается хорошая корреляция между сигналами с двух станций, несмотря на отличие по амплитуде более чем в 40 раз. Следовательно, можно

сделать вывод, что даже на расстоянии 16 км возможно отслеживать режимы работы оборудования на ГЭС.

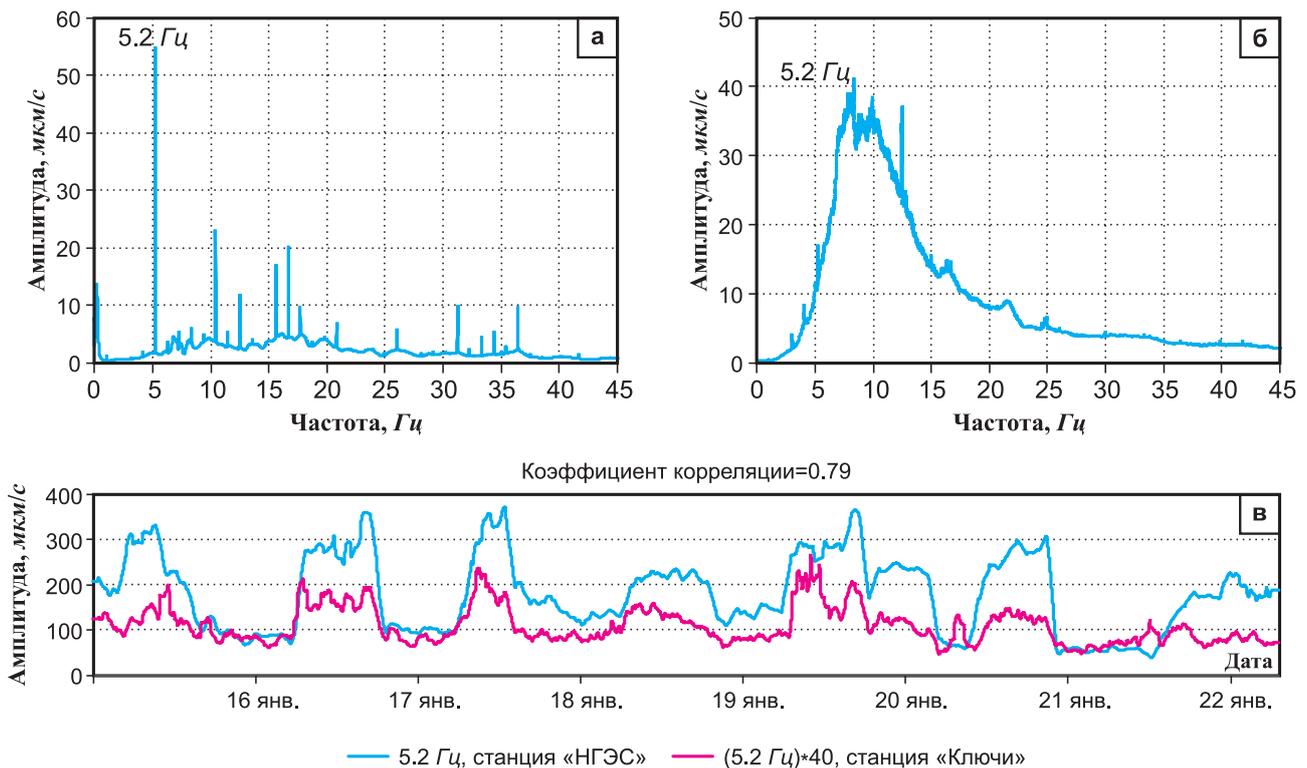


Рис. 7. Графики усреднённого спектра сейсмической записи, зарегистрированной на сеймостанциях «НГЭС» (а) и «Ключи» (б), графики изменения амплитуд колебаний на частоте 5.2 Гц , полученные на сеймостанциях «НГЭС» (синий) и «Ключи» (оранжевый) (в). Z-компонента

2.3. Мониторинг технического состояния сооружений

Как упоминалось ранее, все здания и сооружения (плотины, мосты, высотные здания и пр.) также являются источниками сейсмических волн на частотах, равных собственным частотам колебаний. Изменение значения собственных частот колебаний может служить признаком развивающихся в сооружении деформационных процессов и служить критерием для оценки их технического состояния [Громыко и др., 2017]. Для наблюдения за собственными частотами сооружений в г. Новосибирске было установлено несколько точек наблюдений (таблица). В результате анализа данных, зарегистрированных комплексом, установленным в различных типах домов в г. Новосибирске, определено, что изменение температуры окружающей среды приводит к изменению значения собственных частот колебаний сооружений.

На рис. 8 показано здание по адресу: ул. Пирогова, д. 28, в котором установлен пункт наблюдения комплекса. Ранее было проведено исследование здания по адресу: ул. Пирогова, д. 28 методом стоячих волн [Епанов et al., 2002],

результатом которого стало определение частот его собственных колебаний. В направлении X (поперёк здания) в колебаниях объекта выделяются четыре собственные частоты, отвечающие по порядку с первой по четвёртую формам колебаний конструкции (Гц): 1.91; 2.10; 3.19; 5.93, в направлении Y (вдоль здания) в колебаниях здания выделяются две собственные частоты: 2.50 и 7.25 Гц .

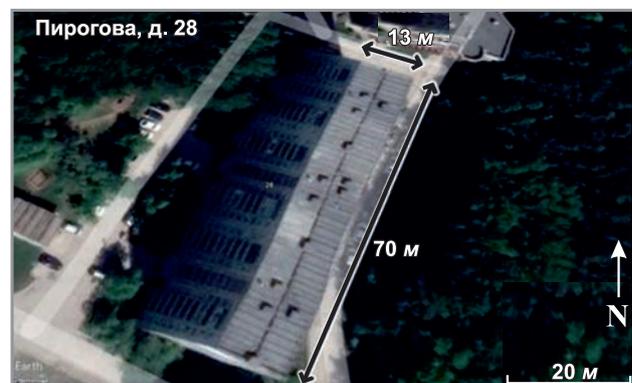


Рис. 8. Схема наблюдений при регистрации микросейсмических колебаний здания

На рис. 9а приведена спектрограмма X-компонент записи, зарегистрированных на пункте наблюдений в верхней части жилого 10-этажного дома по адресу: ул. Пирогова, д. 28, в период с 29.05.2021 г. по 09.06.2021 года. На рисунке хорошо видны изменения первых трёх мод с течением времени.

Полученные изменения значений собственных частот сравнивались с изменением температуры в данный период времени. В качестве данных о температуре выбраны показания метеостанции, установленной в сооружении Института ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН. Также была проведена оценка схожести полученных собственных колебаний здания

и изменений температуры. Для этого использовался коэффициент корреляции Пирсона. Для 1-й моды колебаний – $r=0.5873$; для 2-й моды колебаний – $r=0.7965$; для 3-й моды колебаний значение $r=0.8083$ (рис. 9б, в соответственно).

Вероятно, полной корреляции не наблюдается из-за того, что температура окружающей среды меняется гораздо активнее, чем материал исследуемого сооружения. Но можно однозначно утверждать, что температура среды значительно влияет на изменение значений частот собственных колебаний. Причём рост температуры окружающей среды приводит к увеличению значений частоты собственных колебаний, а снижение температуры – к уменьшению значений.

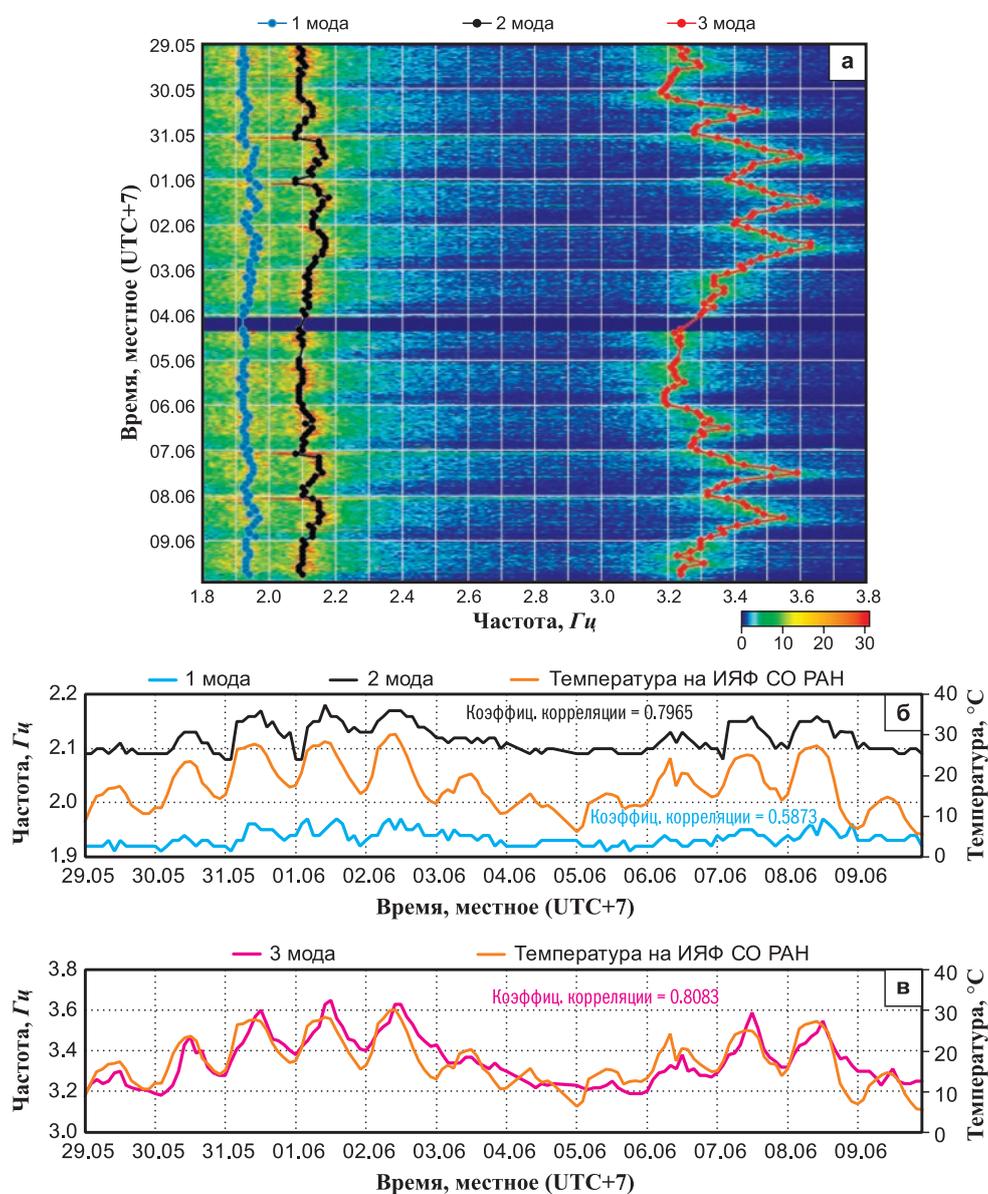


Рис. 9. Спектрограмма с нанесёнными графиками изменений собственных частот (а), графики изменения температуры и значений 1, 2 (б) и 3 (в) мод собственных частот колебаний сооружения. X-компонента

2.4. Организация «чёрного ящика», фиксация моментов аварии

Подобные результаты были получены при анализе данных при детонации, произошедшей в шахте 27.02.2021 года. На рис. 10а,б представлены спектрограмма и трасса в период сейсмического события, произошедшего в шахтах (детонационный взрыв по информации сотрудников АО «Распадская-Коксовая») [Громыко и др., 2021]. Видно, что воздействие охватывает практически все частоты. После него меняется амплитудно-частотный состав записи, особенно шум в полосе 23–27 Гц, который заметно увеличился. Какие-то колебания исчезли (например,

шум в районе 22 Гц). Рассмотрим подробнее, как изменились колебания на лопастной и оборотной частоте за этот период.

На рис. 10в представлен результат обработки сейсмических записей, полученных в пункте наблюдения комплекса 27.02.2021 г. с 13:00 по 16:00 (время местное), зелёные маркеры отображают изменения параметров колебаний на оборотной частоте (12.5 Гц), красные маркеры – на лопастной частоте (100 Гц). Чёрный маркер отображает параметры колебаний в момент детонации (произошедшей в 14:33:53). Яркие тона соответствуют периоду времени до детонации, блёклые – после. Шаг маркеров – 5 секунд.

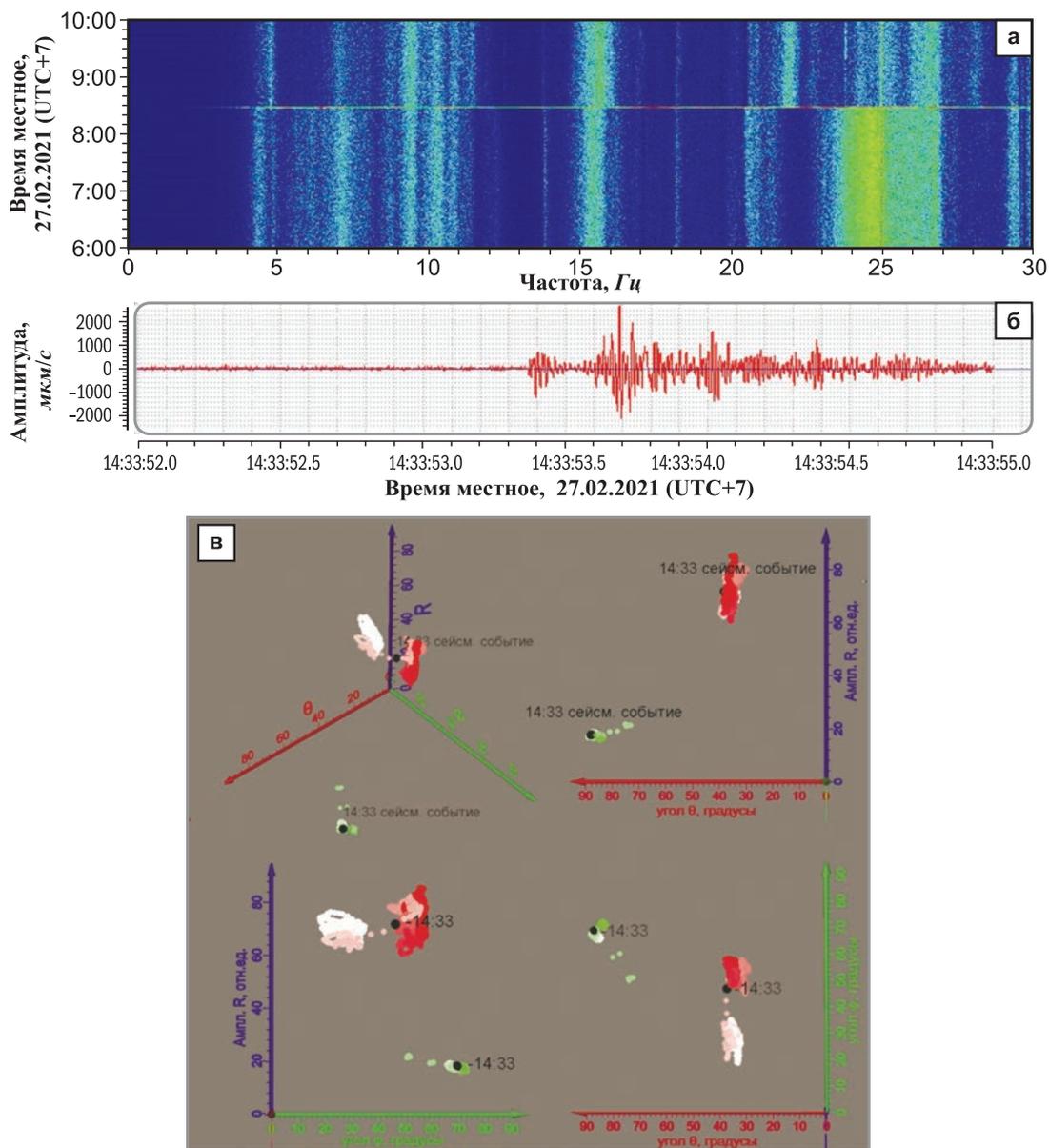


Рис. 10. Спектрограмма (а), трасса (б), и результат обработки сейсмических записей (в), полученных в пункте наблюдения у главной вентиляционной установки № 2 в период сейсмического события, произошедшего в шахте 27.02.2021 года. Z-компонента

На рисунках хорошо видно, что изменения значений параметров для колебаний на оборотной частоте (12.5 Гц) довольно низкие: θ изменилась с ~ 82 до 84° , φ — с ~ 72 до 68° . Для колебаний на лопастной частоте (100 Гц) изменения параметров более существенны: θ изменилась с ~ 33 до 35° , φ — с ~ 25 до 50° . Причиной данных изменений может служить изменение давления и/или объёма воздуха внутри шахты, вызванное детонацией.

Выводы

Продемонстрированы возможности программно-аппаратного комплекса. На нескольких примерах показана его пригодность для решения задач удалённого инженерно-сейсмического мониторинга технического состояния объектов. Блочная структура предлагаемого Комплекса позволяет легко адаптировать его применение в условиях любых климатических поясов и средств передачи данных. Приведена наиболее универсальная схема подключения, позволяющая подключать разнородные регистраторы, производить передачу через сеть Интернет по протоколу SeedLink без привязки к провайдеру сети, без обязательного требования публичного IP-адреса на пункте сбора данных.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфраструктурный комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература

Байкал-8. Технические характеристики // ООО «Экспас» [сайт]. — URL: <http://expas-sib.com/posts/baykal-8.html> (дата обращения 14.08.2022).

ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. «Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений». Общие требования. (Дата введения 2005-09-15). [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039543>

ГОСТ Р 22.1.14-2013. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. «Комплексы информационно-вычислительные структурированных систем мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений». Технические требования. Методы испытаний. (Дата введения 2014-07-01). [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105506>

Громыко П.В. О способе мониторинга состояния вращательных механизмов по данным сейсмических наблюдений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. — С. 31. — EDN: VTBCQA

Громыко П.В., Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Бах А.А., Красников А.А. Методы инженерно-сейсмического мониторинга целостности конструкции сооружений // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. — 2017. — № 70. — С. 59–64. — EDN: YMAOSP

Emanov A.F., Seleznev V.S., Bakh A.A., Gritsenko S.A., Danilov I.A., Kuzmenko A.P., Saburov V.S., Tatkov G.I. Standing waves in engineering seismology // Russian Geology and Geophysics. — 2002. — V. 43, N 2. — P. 181–196. — EDN: TNSYOL

Коковкин И.В., Громыко П.В., Брыксин А.А., Селезнев В.С. О возможности удалённого мониторинга работы гидроагрегатов Новосибирской ГЭС по данным сейсмологических наблюдений // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2021. — Т. 2, № 2. — С. 81–89. doi: 10.33764/2618-981X-2021-2-2-81-89. — EDN: DEOGUA

Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Адилев З.А., Ting-Yu Hsu, Arygianni V. Особенности мониторинга собственных частот плотин гидроэлектростанций (на примере Чиркейской ГЭС) // Российский сейсмологический журнал. 2019. — Т. 1, № 1. — С. 23–34. doi: 10.35540/2686-7907.2019.1.02. — EDN: XXTSNK

Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Громыко П.В., Кречетов Д.В. Методика дистанционного контроля над состоянием оборудования и сооружений гидроэлектростанций по данным сейсмических наблюдений // Гидроэлектростанции в XXI веке. Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, специалистов, аспирантов и студентов. — Саяногорск: СШФ СФУ, 2016а. — С. 80–87. — EDN: VXRRUL

Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Громыко П.В., Кречетов Д.В. О мониторинге оборудования и сооружений крупных ГЭС на основе данных сейсмических наблюдений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. — Обнинск, ФИЦ ЕГС РАН, 2016б. — С. 181–185. — EDN: XCBVQV

Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Кречетов Д.В. О мониторинге технического состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС по изменениям её собственных частот // Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии. Труды Десятой научно-технической конференции. — Приложение на CD-диске: доклады и выступления на секциях

конференции: [Электронный ресурс]. — СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2017. — С. 55–60. — EDN: ZDNYQD

Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Брыксин А.А. Способ непрерывного мониторинга физического состояния зданий и/или сооружений и устройство для его осуществления / Патент на изобретение № 2461847. Бюл. № 26 от 20.09.2012 г. — EDN: NSYIKF

Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Севостьянов Д.Б., Брыксин А.А. SpectrumSeism / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666241 от 11.10.2021 г. — EDN: JKKTEX

Specification GD-4.5 Hz Geophone Element // Gold [site]. — URL: <https://www.cqtopgeo.com/geophysical-equipment/seismic-equipment-and-seismograph/seismic-sensor-geophone-seismic-sensor-land.html> (дата обращения 14.08.2022).

Сведения об авторах

Брыксин Алексей Александрович, и.о. зав. лаб. Сейсмологического филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СЕФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Новосибирск, Россия. E-mail: fater.gs@gmail.com

Громыко Павел Владимирович, науч. сотр. СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия. E-mail: gromykov@mail.ru

Севостьянов Дмитрий Борисович, инженер-геофизик СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия. E-mail: sevostyanov.dmitri@gmail.com

Using the Baikal-8 recorders for seismic monitoring of buildings and structures in real time in Seismological Branch of the GS RAS

© 2022 A.A. Bryksin, P.V. Gromyko, D.B. Sevostyanov

SEB GS RAS, Novosibirsk, Russia

Received August 15, 2022

Abstract The paper describes the composition of hardware and software parts of the seismic data transmission complex. The complex has been developed as a variant of a practical approach to the implementation of the method of engineering-seismic monitoring developed in SEB GS RAS. The method is based on spectral and quantitative analysis of the amplitude-frequency components of the signal emitted by the studied sources. Examples of the operation of the complex at industrial facilities and in civil construction are given, various approaches to the analysis of forced vibrations caused by the operation of large industrial equipment and normal oscillations of structures are shown.

Keywords Hardware and software complex, seismic signal, monitoring.

For citation Bryksin, A.A., Gromyko, P.V., & Sevostyanov, D.B. (2022). [Using the Baikal-8 recorders for seismic monitoring of buildings and structures in real time in Seismological Branch of the GS RAS]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 4(3), 68-80. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.3.06>. EDN: SWBQCI

References

- Emanov, A.F., Seleznev, V.S., Bakh, A.A., Gritsenkov, S.A., Danilov, I.A., Kuzmenko, A.P., Saburov, V.S., & Tatkov, G.I. (2002). Standing waves in engineering seismology. *Russian Geology and Geophysics*, 43(2), 181-196. EDN: TNSYOL
- Gold. (2022). Specification GD-4.5 Hz Geophone Element. Retrieved from <https://www.cqtopgeo.com/geophysical-equipment/seismic-equipment-and-seismograph/seismic-sensor-geophone-seismic-sensor-land.html>
- GOST R 22.1.12-2005. (2005). [Safety in emergencies. Structured system for monitoring and control of building/construction engineering equipment. General requirements [Text]. Enter 2005-09-15]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200039543> (In Russ.).
- GOST R 22.1.14-2013 (2014). [Safety in emergencies. Information-computational complexes of Structured system for monitoring and control of building/construction engineering equipment. Technical requirements. Test methods [Text]. Enter 2014-07-01]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200105506> (In Russ.).
- Gromyko, P.V. (2021). [The method for monitoring the state of rotary mechanisms on the data of seismic observations]. In *Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Tezisy XV Mezhdunarodnoy seismologicheskoy shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Abstracts of the XV International Seismological Workshop. Ed. A.A. Malovichko] (p. 31). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: VTBCQA
- Gromyko, P.V., Seleznev, V.S., Lisejkin, A.V., Bah, A.A., & Krasnikov, A.A. (2017). [Methods of engineering and seismic monitoring of structural integrity of structures]. *Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo centra RAN* [Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the RAS], 70, 59-64. (In Russ.). EDN: YMAOSP
- Kokovkin, I.V., Gromyko, P.V., Bryksin, A.A., & Seleznev, V.S. (2021). [Possibilities of remote monitoring of the novosibirsk hpp hydraulic units operation according to seismological observations]. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia], 2(2), 81-89. (In Russ.).
- Lisejkin, A.V., Seleznev, V.S., Adilov, Z.A., Ting-Yu Hsu, & Arygianni, V. (2019). [Features of the monitoring of natural frequencies of hydro power plant dams (on the example of the Chirkey dam)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 1(1), 23-34. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2019.1.02. EDN: XXTSNK
- Lisejkin, A.V., Seleznev, V.S., & Krechetov, D.V. (2017). [On monitoring the technical condition of the Sayano-Shushenskaya HPP dam by changes in its natural frequencies]. In *Gidroenergetika. Gidrotekhnika. Novye razrabotki i tekhnologii. Trudy Desiatoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Prilozhenie na CD-diske: doklady i vystupleniya na sekciyah konferentsii: Elektronnyj resurs* [Hydropower. Hydraulic engineering.

New developments and technologies. Proceedings of the Tenth Scientific and Technical Conference. Appendix on CD-ROM: reports and speeches at the sections of the conference: Electronic resource] (pp. 55-60). Saint-Petersburg, Russia: Vedeneev VNIIG Publ. (In Russ.). EDN: ZDNYQD

Lisejkin, A.V., Seleznev, V.S., Gromyko, P.V., & Krechetov, D.V. (2016). [The method of remote control over the condition of equipment and structures of hydroelectric power plants according to seismic observations]. In *Gidroelektrostantsii v XXI veke. Sbornik materialov III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh, specialistov, aspirantov i studentov* [Hydroelectric power plants in the XXI century. Collection of materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference of young scientists, specialists, postgraduates and students] (pp. 80-87). Sayanogorsk, Russia: SSHF SFU Publ. (In Russ.). EDN: VXRRUL

Lisejkin, A.V., Seleznev, V.S., Gromyko, P.V., & Krechetov, D.V. (2016). [About monitoring of inventory and constructions of large hydroelectric

power stations on the basis of these seismic supervision]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretacii seismologicheskikh dannyh. Materialy XI Mezhdunarodnoj seismologicheskoy shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Proceedings of the XI International Seismological Workshop. Ed. A.A. Malovichko] (pp. 181-185). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: XCBBQV

ООО «Ekspas» [Expas LLC]. (2022). [Baikal-8. Technical specifications]. Retrieved from <http://expas-sib.com/posts/baykal-8.html> (In Russ.).

Seleznev, V.S., Lisejkin, A.V., & Bryksin, A.A. (2012). [A method for continuous monitoring of the physical condition of buildings and/or structures and a device for its implementation]. Patent RF No. 2461847. (In Russ.). EDN: NSYIKF

Seleznev, V.S., Lisejkin, A.V., Sevost'yanov, D.B., & Bryksin, A.A. (2021). [SpectrumSeism]. Certificate of state registration of a computer program No. 2021666241. (In Russ.). EDN: JKKTEX

Information about authors

Bryksin Alexey Alexandrovich, Head of Laboratory of the Seismological Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (SEB GS RAS), Novosibirsk, Russia. E-mail: fater.gs@gmail.com

Gromyko Pavel Vladimirovich, Researcher of the SEB GS RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: gromykovp@mail.ru

Sevostyanov Dmitriy Borisovich, Geophysicist Engineer of the SEB GS RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: sevostyanov.dmitri@gmail.com