

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ СЕЙСМОМОНИТОРИНГА ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

В.И.Довгань – ст. науч. сотр., менеджер

The seismic monitoring system of Toktogul hydroelectric power station is conserved.

Токтогульская ГЭС на р. Нарын в Кыргызстане – одно из крупнейших гидротехнических сооружений мира. Бетонная гравитационная плотина высотой 215 м находится в глубоком каньоне с высоким уровнем естественных тектонических напряжений в массивах горных пород. По современной сейсмичности и наличию палеосейсмодислокаций Токтогульский район отнесен к девятибалльной зоне возможных очагов землетрясений.

В период возведения Токтогульской ГЭС и в первые годы ее эксплуатации в районе расположения станции были проведены широкомасштабные геофизические исследования. В течение последнего десятилетия система сейсмического мониторинга плотины и прилегающего массива практически отсутствует. В настоящее время проводится работа по возобновлению инженерно-сейсмометрических исследований, основная цель которых – изучение физического состояния плотины за 30-летний период ее эксплуатации и последующий мониторинг плотины и бортов каньона.

Приведем характеристику составных частей системы планируемого сейсмомониторинга.

Система сбора данных. Для организации дистанционного съема данных с сейсмодатчиков, установленных в теле плотины Токтогульской ГЭС, создается система сбора данных (рис. 1). Она предназначена для непрерывного измерения сигналов с 10 трехкомпонентных сейсмодатчиков. Кроме того, система должна

быть легко расширяема (масштабируема) как количественно (увеличение количества точек сбора информации), так и функционально (добавление новых типов датчиков). Поэтому было решено выполнить основные компоненты системы на микропроцессорах, что позволяет гибко перенастраивать систему в зависимости от поставленных задач.

Система состоит из двух подсистем: на плотине, другая – в Кыргызско-Российском Славянском университете (КРСУ, Бишкек). Взаимодействие осуществляется через Интернет.

Подсистема, расположенная в КРСУ, решает задачи приема данных с плотины, их анализа и архивирования. Кроме того, она позволяет оперативно управлять работой подсистемы на плотине, изменять режим измерения, контролировать работу датчиков и оборудования. Подсистема состоит из “сервера”, двух “рабочих станций” и сетевого оборудования. Связь с Интернет осуществляется через модем. Все компьютеры работают под управлением операционной системы “Windows XP”. Для анализа данных будут использоваться математические пакеты “Matlab” и “MathCad”.

В задачу подсистемы, расположенной на плотине Токтогульской ГЭС, входит сбор данных от сейсмических датчиков, их анализ, предварительная обработка, упаковка, архивация и передача собранной информации в КРСУ для дальнейшей обработки. Кроме того, ведется постоянный контроль за работой всей системы. Подсистема состоит из “сервера”, “рабочей станции предварительной

СЕЙСМОЛОГИЯ И ГЕОМЕХАНИКА

обработки данных”, “мультиплексора”, сетевого оборудования и “сейсмических датчиков”. Связь с Интернет осуществляется через модем. Все компьютеры работают в операционной системе “Linux”.

“Рабочая станция предварительной обработки данных” (РСПОД) управляет работой “мультиплексора” (МП) и “сейсмических датчиков” (СД), ведёт предварительную обработку данных от СД,

передаёт результаты обработки в “сервер”, контролирует работоспособность СД и МП.

Предварительная обработка данных включает в себя:

- усреднение спектров сейсмических колебаний за час;
- поиск и выделение сейсмических событий.

Сервер выполняет роль коммуникации с Сервером КРСУ, управляет работой всех компьютеров своей подсети, сохраняет данные от РСПОД, отправляет их в КРСУ.

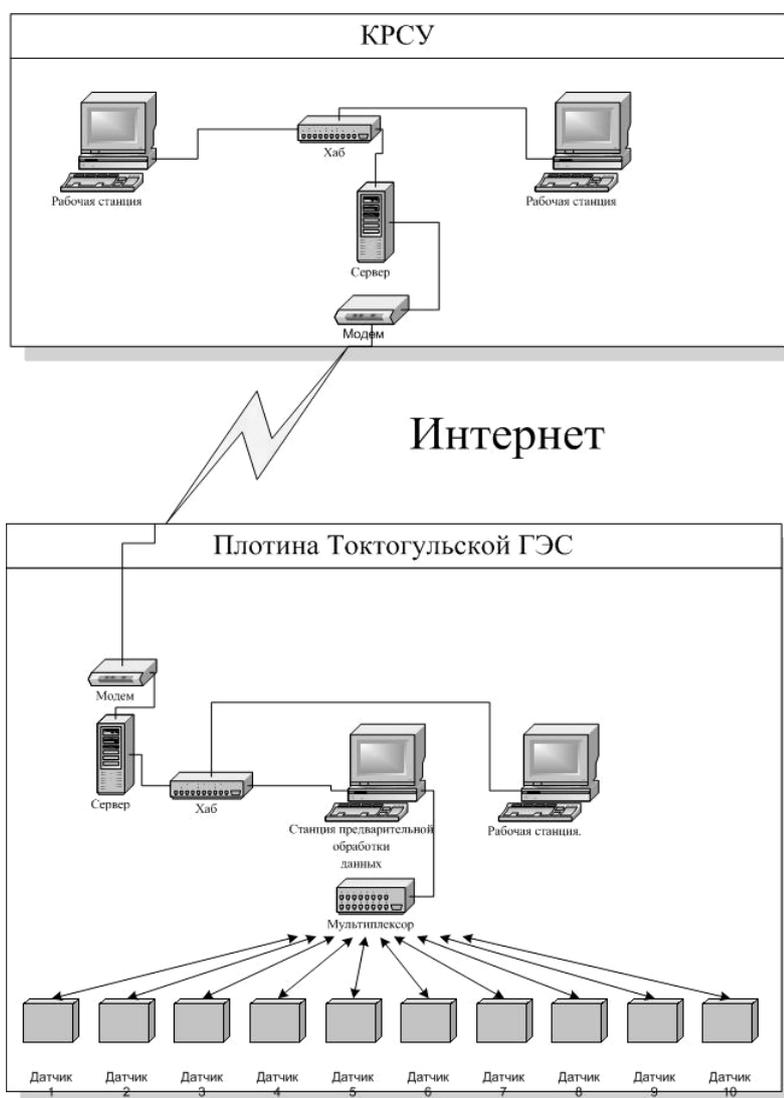


Рис. 1. Структура системы сбора.

“Мультиплексор” объединяет все СД и преобразует потоки команд и данных между РСПОД и СД. Связь с СД осуществляется по выделенным линиям с использованием интерфейса RS485. Связь МП с РСПОД осуществляется по параллельному каналу или каналу “10BaseT Ethernet”. Выбор данных интерфейсов и скоростей передачи данных обусловлен требованиями к надежности передачи и объемом данных, поступающих с СД.

СД состоит из трёх сейсмических датчиков СМЗ-КВ, по осям X,Y,Z, и контроллера сейсмического датчика – КСД (рис. 2). Сейсмодатчики преобразуют колебания плотины в электрические сигналы, пропорциональные скорости колебания плотины. КСД преобразует электрические сигналы от сейсмодатчиков в цифровую форму с помощью 24-разрядных аналого-цифровых преобразователей (АЦП), формирует пакеты данных и передает их в МП по каналу RS485. Кроме этого КСД осуществляет калибровку сейсмодатчиков с внутренних АЦП, измеряет температуру в месте установки на плотине. Разработана принципиальная электрическая схема и документация на печатную плату КСД.

Управляющим элементом КСД является микроконтроллер Microchip PIC18F452.

Использование микроконтроллера непосредственно с датчиком позволяет повысить уровень общения с датчиком, уменьшить объем данных, передаваемых по линии связи в процессе измерения, реализовать дополнительные функции, такие, например, как дистанционная калибровка датчиков и т.п.

Для того чтобы реализовать требуемую чувствительность и перекрыть необходимый динамический диапазон входных сигналов в ИСД01, используется $\Sigma\Delta$ АЦП фирмы Analog Device AD7738. Этот АЦП позволяет на частоте дискретизации 1 кГц производить измерения с разрешением до 20 разрядов на входных диапазонах от ± 625 мВ до ± 2.5 В. Предварительные измерения уровней сигналов датчиками типа СМЗ-КВ в выбранных точках в теле Токтогульской ГЭС показали, что использовать датчики СМЗ-КВ с АЦП AD7738 можно без использования предусилителя.

Низкочастотный фильтр используется для предотвращения переноса и наложения высокочастотной части спектра входного сигнала в область низких частот (antialiasing).

Схема калибровки датчика предназначена для исследования переходной характеристики сейсмодатчика с целью определения его чувствительности и частотных характеристик.

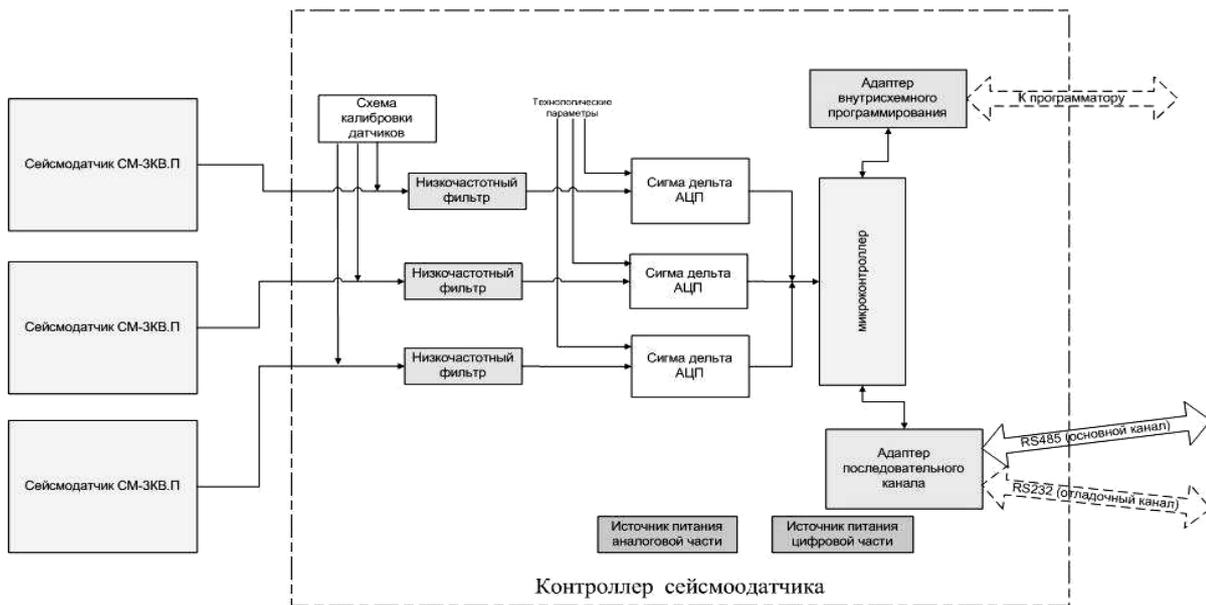


Рис. 2. Структурная схема КСД.

Адаптер внутрисхемного программирования и адаптер последовательного канала предназначены для облегчения программирования, отладки и модернизации программного обеспечения контроллера. Первый предназначен для подключения универсального программатора к плате контроллера трехкомпонентного сейсмодатчика для программирования микроконтроллера непосредственно в устройстве; второй позволяет подключать к входам микропроцессора либо основной канал связи – RS485, либо RS232, используемый при отладке контроллера.

Протоколы взаимодействия подсистем системы сбора данных. Взаимодействие между РСПОД и сервером осуществляется по протоколу TCP. В случае потери соединения или перезагрузки одного из компьютеров канал восстанавливается по инициативе РСПОД. Данные по TCP передаются потоком (DataStream), поэтому при передаче пакетов между Сервером и КПОД в начале каждого пакета указывается его длина. В случае рассинхронизации взаимодействия (потери части пакетов) срабатывает алгоритм самосинхронизации, в случае неуспеха – канал пересоздается (вероятность этих операций оценена как 1 раз в месяц).

Для взаимодействия РСПОД и МП, а также МП и СД разработаны собственные протоколы взаимодействия, которые учитывают специфику работы системы. Протокол включает в себя команды управления, команды калибровки и команды измерения.

Схема установки сейсмических датчиков в теле плотины. Исходной базой для исследования плотины будут экспериментальные сейсмометрические наблюдения, проводимые в 9 стационарных точках на разных уровнях сооружения. Одна точка расположена на коренных породах ущелья на расстоянии 1000 м от плотины. Каждый сейсмодатчик является трехкомпонентным и состоит из контроллера и трех датчиков, ориентированных по осям X, Y, Z. Ось X каждого сейсмодатчика ориентирована в направлении север-юг.

Выбор расположения точек наблюдений обусловлен конструкцией самой плотины. Тело плотины состоит из трех секций – одной центральной и двух боковых, расположенных справа и слева от центральной секции, соответственно по правому и левому берегу реки. Центральная секция отделена от боковых деформационными швами. Каждая боковая секция, в свою очередь, состоит из блоков,

соединенных деформационными швами (рис. 3).

В центральной секции установлено три сейсмодатчика на высотах 744, 825 и 880 м соответственно. В каждой боковой секции в разных блоках установлено по 2 сейсмометра на высотах 825 и 880 м. Кроме того, по одному сейсмометру установлено в коренных породах правого и левого берега на высоте 825 м. Ниже приведены данные о расположении сейсмодатчиков согласно присвоенным им номерам (рис. 3).

Сейсмодатчик 1с находится на фундаменте в штольне на отметке 880 м в центре между деформационными швами в правой боковой секции плотины. Сейсмодатчик 2с – на фундаменте в штольне на отметке 880 м в центре центральной секции плотины. Сейсмодатчик 3с – на фундаменте в штольне на отметке 880 м в центре между деформационными швами в левой боковой секции плотины. Сейсмодатчик 4с – в нише в конце штольни в коренных породах на отметке 825 м правой боковой секции плотины.

Сейсмодатчик 5с – в нише в штольне на отметке 825 м в центре между деформационными швами в правой боковой секции плотины. Сейсмодатчик 6с – в нише в штольне на отметке 825 м в середине центральной секции плотины. Сейсмодатчик 7с – на фундаменте в штольне на отметке 825 м в центре между деформационными швами в левой боковой секции плотины. Сейсмодатчик 8с – в нише в конце штольни в коренных породах на отметке 825 м левой боковой секции плотины. Сейсмодатчик 9с – на фундаменте в штольне на отметке 744 м в середине центральной секции плотины. Сейсмодатчик 10с – на фундаменте в штольне в коренных породах на отметке 736 м на расстоянии 1000 м от плотины.

Сейсмодатчики устанавливаются в двух вариантах, в зависимости от наличия или отсутствия ниш в стенах штольни.

Первый вариант – сейсмодатчики 1с, 2с, 3с, 7с, 9с и 10с размещаются на фундаментах из бетона марки М500 размером 750×750×800 мм на полу в штольнях плотины. Для лучшего

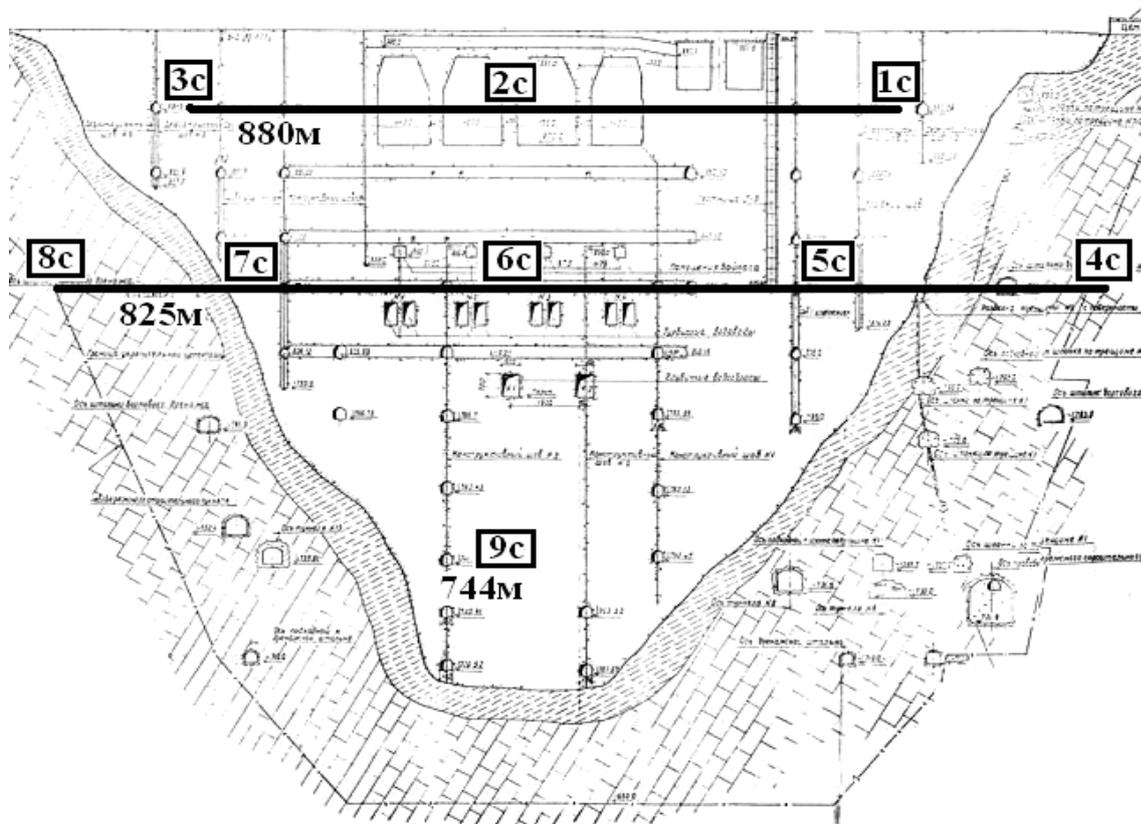


Рис. 3. Схема установки сейсмоматчиков в теле плотины.

контакта с телом плотины фундамент примыкает к стене коридора.

Второй вариант – сейсмоматчики 4с, 5с, 6с и 8с размещаются в нишах размером $1000 \times 1000 \times 1000$ мм в стенах коридоров. Для лучшего контакта с телом плотины внутри ниш заливается фундамент высотой 100 мм по всему дну ниши.

Общая технология работ по устройству фундамента для сейсмоматчиков проводится в два этапа: первый – подготовка грубого фундамента под сейсмоматчики; второй – устройство точного фундамента под сейсмоматчики с помощью специального технологического приспособления – юстировочной плиты. Юстировочная плита позволяет точно ориентировать болты крепления и соответственно посадочные места

всех компонент каждого сейсмоматчика. Перед заливкой бетона на юстировочной плите закрепляются все болты крепления сейсмоматчика. Затем плита вместе с болтами заливается бетоном в точном фундаменте. После отвердения бетона юстировочная плита снимается с точного фундамента, а болты крепления сейсмоматчика остаются замурованными в бетоне. Таким образом достигается высокая точность установки сейсмоматчиков.

Все технологические операции по установке датчиков и их юстировке разработаны и согласованы с Институтом динамики геосфер.

Работа выполняется при поддержке гранта МНТЦ КР-547.2