

УДК 681.3.06

**В. Е. Марлей, д-р техн. наук,
А. В. Макшанов, д-р техн. наук,
П. А. Гарибин, д-р техн. наук,
Е. О. Ольховик, канд. техн. наук,
А. Ю. Олейник**

Кафедра «Вычислительные системы и информатика»,
Государственный университет морского и речного флота
им. адмирала С. О. Макарова

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Показан принципиально новый подход, позволяющий обеспечить мониторинг деформационных процессов, которые происходят в строительной части гидротехнических сооружений. Описываются характеристики разработанной для измерительных целей аппаратуры, принципы ее функционирования, а также методы организации системы учета и анализа поступающих данных. Отличие представленных разработок – в использовании открытых технологий и платформы Arduino для построения программных средств. Представлен измерительный комплекс с сетевой структурой, обеспечивающий возможность в минимальные сроки и при экономически обоснованных издержках создать сеть для эффективного контроля технического состояния гидротехнических сооружений. Предложены подходы к оценке особенностей текущего состояния строительной части гидротехнических сооружений на базе интегральных критериев. Это является залогом достоверности и однородности данных при анализе поступающих информационных сведений. Обоснована возможность разработки системы оповещений, способной обеспечить эффективное и своевременное уведомление о недопустимых режимах функционирования гидротехнических сооружений.

системы контроля; гидротехнические сооружения; деформационные процессы; контрольные измерения; комплексный анализ

Введение

Наличие серьезных нагрузок статического и динамического характера, возникающих в результате воздействия природных, техногенных и человеческих факторов, – одна из основных черт, отражающих условия эксплуатации таких сложных инженерно-строительных систем, как гидротехнические сооружения (ГТС). Эти нагрузки способны вызвать перенапряжение и деформационные процессы в конструкциях и узлах ГТС, что становится причиной на-

рушения их целостности. Опыт эксплуатации гидротехнических сооружений позволяет сделать вывод о том, что залогом продолжительного бесперебойного функционирования тонких подпорных стенок является систематический мониторинг их состояния. На большинстве объектов подобные контрольные обследования осуществляются в ручном режиме, с применением механизированных инструментов. Благодаря автоматизации измерительных процессов появилась возможность значительно снизить финансовые издержки, увеличить число контролируемых параметров, повысить качество мониторинга, обеспечить изменение условий эксплуатации, нарастить эксплуатационный ресурс функционирования ГТС. Как показывают работы российских авторов, например, реализованные на базе ФГБОУ ВО ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова методики Н.А. Балонина [1, 2], П.А. Гарибина [3, 4], а также разработки А.В. Устинова [5], Е.З. Арифудиной [6] и А.В. Малько [7], перечисленные задачи пока не нашли окончательного решения.

В статье описывается подход к прогнозированию напряженно-деформационных процессов в подпорных стенках и к оценке работоспособности несущих конструкций ГТС при их продолжительной эксплуатации с использованием аппарата математической статистики.

1 Особенности системы мониторинга гидротехнических сооружений

Основные вопросы, которые должны быть решены в процессе инструментального мониторинга состояния подпорных стенок ГТС, заключаются:

- в регистрации вида нагрузки;
- регистрации пространственных смещений верхней части стенок;
- определении параметров прочности конструкционных материалов;
- установлении текущих показателей относительной плотности грунта;
- регистрации прогибов упругой линии подпорных стенок;
- выявлении наличия коррозионных поражений анкерных тяг и стальных шпунтов.

В результате взаимодействия тонких подпорных стенок с грунтом наблюдается постепенное нарастание напряжений в отдельных элементах стенок. При этом величина пространственных смещений их верхней части позволяет оценить уровень общей устойчивости и изменения напряженного состояния стенок. В свою очередь, прогиб их упругих линий свидетельствует о напряжениях, существующих в подпорных стенках.

В целях получения достоверных результатов контрольных измерений требуется организовать мониторинг изменений всех перечисленных показателей и установить наличие зависимости этих изменений от внешних факторов. Поэтому весь массив информационных данных, получаемых в процессе

измерений, должен фиксироваться при одновременном указании параметров окружающей среды (температурных значений воздуха, объема воды в засыпке, уровня нагрузок и т. д.).

По итогам измерительных операций (по отдельности для ближних и отдаленных нагруженных участков подпорных стенок) выполняются графические изображения. Их анализ позволяет установить закономерности в процессах приращения усилий, что служит целям определения допустимых нагрузок. Специфичность данного подхода заключается в отсутствии требований к проведению тестовых нагрузочных проб. Анализ может быть выполнен непосредственно в рамках штатной эксплуатации ГТС.

Процессы, связанные с естественным старением конструкций гидротехнических сооружений, традиционно оцениваются на основании динамики сокращения допустимой нагрузки в выбранном временном периоде. В последние годы многие специалисты предлагают исследовать процессы деградации конструктивных элементов с помощью мониторинга явлений обратной релаксации при удалении нагрузочного воздействия. Это возможно только в случае статистической обработки крупных информационных массивов. Ключевой целью эксперимента, изложенного в настоящей работе, является оценка возможностей получения практической методики, которая позволит решить этот вопрос.

Анализ деформационных процессов в подпорных стенках ГТС – сложнейшая проблема. Она требует создания принципиально новых методологий и специализированного оборудования, которые позволят с точностью измерять разнообразные варианты деформаций: осадки, наклона конструкций, угловых смещений.

При этом весь объем информационных данных, отражающих изменения геометрической топологии отдельных элементов конструкций ГТС необходимо регистрировать в непрерывном режиме в реальном масштабе времени, поскольку единичные геодезические съемки не способны предоставить исчерпывающих сведений о техническом состоянии ГТС. Нужно учитывать, что конструкции гидротехнических сооружений подвержены многократным обратимым деформациям, сопряженным, в частности, с естественной осадкой, ветровой и ледовой нагрузкой при грузовых операциях.

Контроль технического состояния ГТС может быть эффективен вследствие реализации методики, базирующейся на использовании современных интернет-технологий и микропроцессоров. Она позволяет обеспечить непрерывное аналитическое исследование статистических данных, полученных в реальном масштабе времени в специально выявленных «контрольных точках» ГТС. В результате можно построить объективную статистическую модель деформационных процессов, которая совместно с математической моделью может быть введена в систему диагностирования технического состояния ГТС.

Статистическая модель может быть построена на базе метода группового учета аргументов (создания матрицы векторных величин контролируемых показателей в заданный период времени). Модель вводится в систему диагностирования, где регистрируемые значения контролируемых показателей сравниваются с исходными параметрами модели. Результаты данного сравнения представляют собой оценку фактического состояния гидротехнического сооружения в текущий момент времени. В России для выявления деформаций используется в основном европейское оборудование узкоспециализированного предназначения, с высокой первоначальной стоимостью и значительными эксплуатационными издержками.

2 Структура системы мониторинга

Методологический подход к созданию системы непрерывного контроля деформационных процессов ГТС предполагает использование в проектах следующего оборудования:

- микроконтроллеров типа AVR (Atmel);
- цифровых датчиков, отслеживающих изменения геометрической топологии в реальном масштабе времени;
- средств беспроводной связи.

Данное оборудование может иметь различную комплектацию, что позволяет пользователям приобретать его версии, максимально соответствующие конкретным условиям эксплуатации с точки зрения экономической целесообразности, возможностей гибкой настройки и модификации.

В числе ключевых технологических элементов системы контроля следует выделить:

- сервер хранения и обработки данных;
- блоки измерения;
- блоки управления.

В роли сервера обработки данных используется виртуальный выделенный сервер, арендуемый в Data-центре. Технология VPS позволяет эмулировать работу отдельного физического сервера. Сервер функционирует под свободной операционной системой CentOS семейства GNU/Linux. Выбор технологии VPS обуславливается экономичностью использования ресурсов и их масштабируемостью в рамках проектируемой системы мониторинга.

В качестве платформы для блоков измерения и управления выбрана аппаратная вычислительная платформа Arduino, которая базируется на микроконтроллере Atmel Atmega328. Arduino представляет собой открытую платформу для создания электронных устройств, основными компонентами которой являются плата с микроконтроллером ATmega и интегрированная среда разработки (IDE) на языке Wiring. Интегрированная среда разработки

в течение нескольких лет демонстрирует успешное функционирование в разнообразных проектах, сопряженных с организацией непрерывного контроля физических показателей [8, 9]. Платформа Arduino может использоваться для разработки электронных устройств с возможностью обработки сигналов от различных аналоговых и цифровых датчиков. Устройства, созданные на этой платформе, могут быть как автономными, так и взаимодействующими с программным обеспечением, выполняемым на компьютере (например, Processing, Flash, MaxMSP и др.). Существует множество микроконтроллеров и платформ для создания автономных интерактивных объектов. Netmedia's BX-24, Parallax Basic Stamp, MIT's Phidgets Handyboard и многие другие предлагают схожую функциональность с Arduino. Однако Arduino, в свою очередь, имеет ряд преимуществ перед другими платформами:

- низкую стоимость – Arduino-совместимые платы относительно дешевы, по сравнению с другими платформами, кроме того, плату можно собрать самостоятельно;

- кросс-платформенность – программное обеспечение Arduino совместимо с ОС Windows, Macintosh OSX и Linux, большинство микроконтроллеров ограничивается ОС Windows.

Измерительный блок (рис. 1) состоит из следующих компонентов:

- платформы Arduino Nano 3.0 на базе микроконтроллера Atmel Atmega328;
- трехосевого цифрового акселерометра ADXL345;
- радиомодуля APC220-43, работающего на частоте 418–455 МГц.

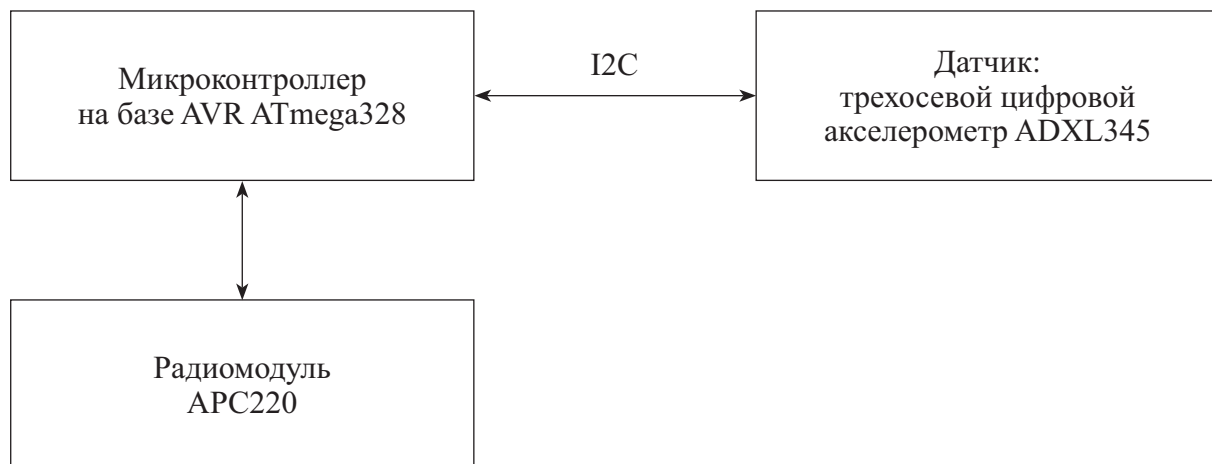


Рис. 1. Структура измерительного блока

В установленные пользователями временные периоды обеспечивается обработка информационных сведений, поступающих от датчиков. Оборудование оснащено трехосевым акселерометром ADXL345, позволяющим выполнять измерения по ортогональным осям (данный акселерометр, например, используется в составе датчиков диагностики виброускорений в системах

непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры [10–12]). Среднее отклонение в процессе измерений составляет около $\pm 0,1^\circ$, а исследуемые значения находятся в диапазоне $\pm 2g \dots \pm 16g$.

Посредством акселерометра электронного типа обеспечивается фиксация проекций ускорений на трех пространственных осях. Это позволяет выявить степень интенсивности перемещения конструкций в результате любых механических воздействий. Величина температурного диапазона измерительных блоков составляет $-40 \dots +70^\circ\text{C}$. Оборудование обеспечивается электропитанием от внешних источников либо от аккумуляторов, что является залогом мобильности, абсолютной надежности и простоты эксплуатации системы. Ее функционирование может быть обеспечено как в непрерывном режиме, так и в режиме периодических измерений.

Блок управления (рис. 2) состоит из следующих компонентов:

- платы расширения Ethernet Shield;
- платформы Arduino Uno 3 на базе микроконтроллера Atmel Atmega328;
- радиомодуля APC220-43, работающего на частоте 418–455 МГц.

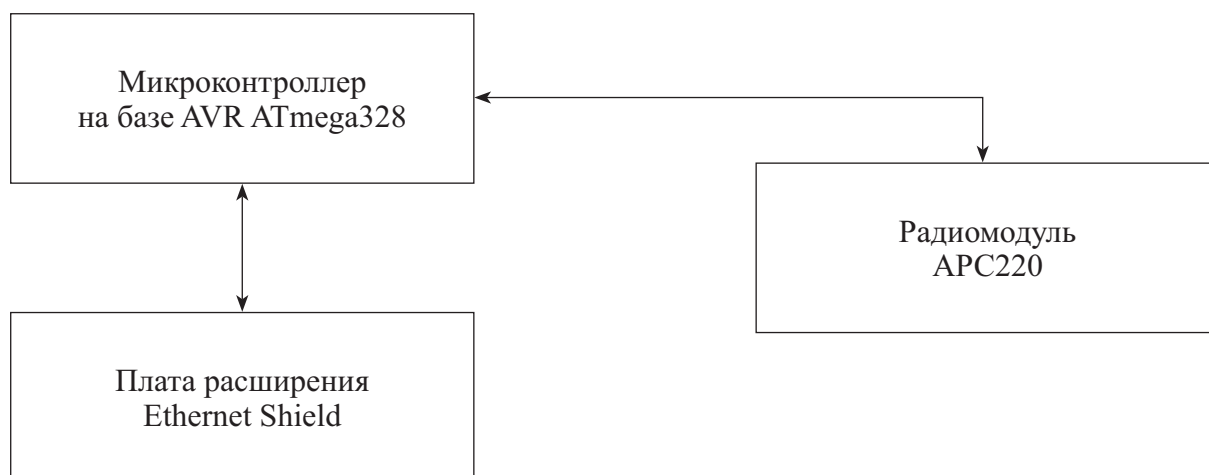


Рис. 2. Структура блока управления

Применяемая в блоках управления плата расширения Ethernet Shield устанавливается поверх платформы Arduino [13, 14]. Она используется в качестве сетевого устройства, обеспечивает поддержку протокола TCP/IP и позволяет организовать связь с иными сетевыми ресурсами по проводной сети. Каждому измерительному блоку присваивается собственный идентификационный номер. Монтаж любого подобного объекта осуществляется в четко определенных контрольных точках ГТС. Процесс управления измерительными блоками осуществляется посредством микроконтроллеров типа ATmega328 (Arduino Nano 3.0), в которые при помощи usb-портов загружается программное обеспечение.

На основе отдельных модулей может быть сформирована измерительная сеть, в состав которой могут включаться до 30 блоков измерения и блоков

управления, способных обеспечить непрерывный контроль деформационных процессов, происходящих в каждой контрольной точке. Контроль осуществляется в автоматизированном режиме.

Во время функционирования оборудования в режиме периодических измерений вся информация, собираемая при помощи измерительных блоков, направляется на блоки управления посредством радиосвязи. При этом в блоках управления обеспечивается хранение информационных массивов, для этой цели используются SD-карты.

В процессе непрерывного контроля блоки управления обеспечивают ретрансляцию данных посредством протокола TCP/IP на сервер обработки и хранения информации (рис. 3). Данные, полученные от измерительных блоков, хранятся на сервере в реляционной базе данных. За управление реляционной базой данных отвечает свободная система MySQL. Обработкой и анализом статистических данных на сервере занимается специальное программное обеспечение, спроектированное с использованием алгоритмов,

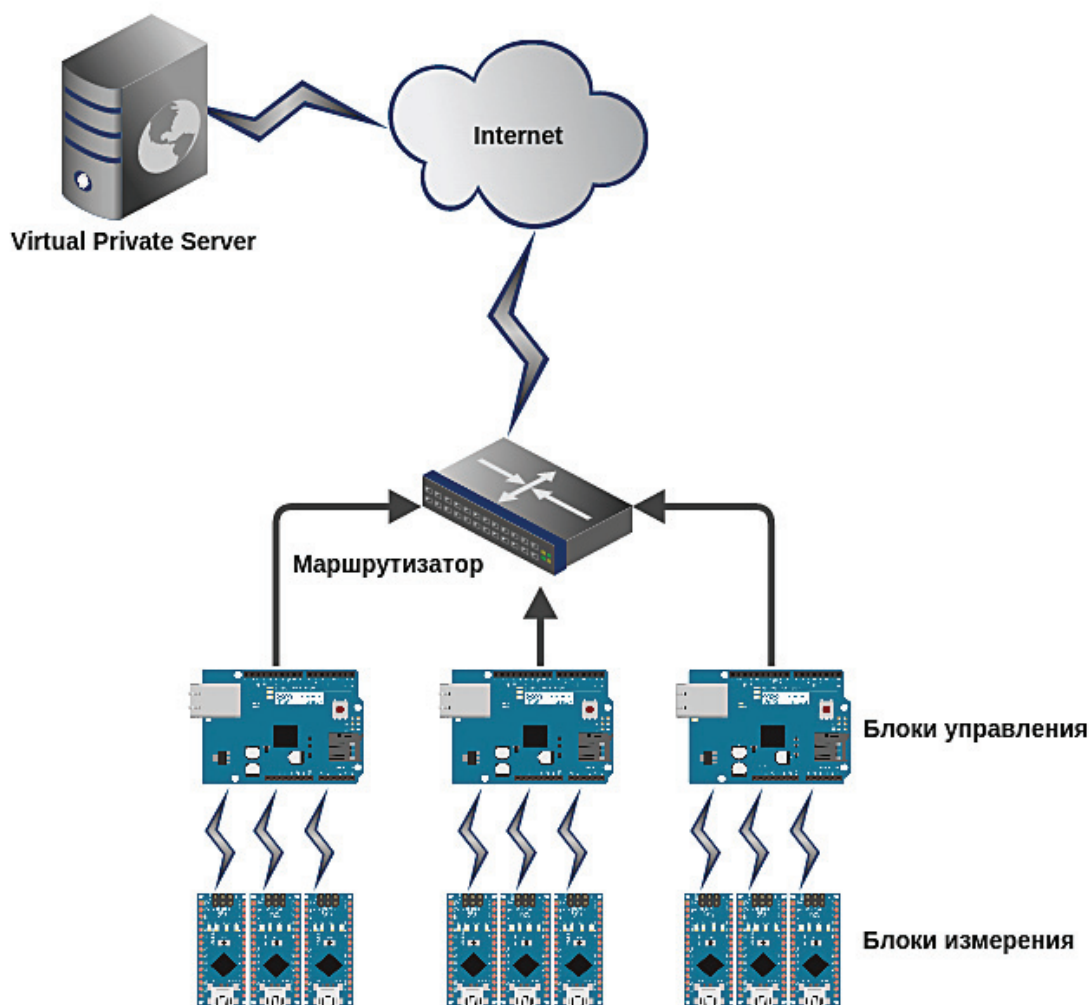


Рис. 3. Сетевая структура измерительных блоков, обеспечивающая сбор и хранение данных на сервере

разработанных с помощью пакетов прикладных математических программ Matlab и Scilab.

Эффективное и своевременное реагирование на проблемы, связанные с изменением текущего состояния контролируемых показателей, обеспечивает контрольно-предупредительная сигнализация, возможность установки которой предусмотрена. Данная предупредительная система предназначена для оперативного информирования центра управления объектом о резких изменениях значений контролируемых параметров, а также о самопроизвольных отключениях измерительных блоков.

3 Критерии оценки технического состояния объекта мониторинга

Ценной характеристикой предлагаемой методики является то, что сведения о техническом состоянии ГТС переоцениваются по множеству критериев в процессе каждой актуализации системы. Это позволяет сделать исчерпывающие выводы о состоянии гидротехнического сооружения. Множество критериев может быть приведено к интегральному виду. На практике изменение критериев в одном диапазоне возможно не во всех случаях, поэтому требуется их нормирование.

Одним из возможных подходов к решению этой проблемы может стать использование функции состояния [4], имеющей два интервала монотонности и принимающей значение только в зоне положительных чисел. Ее основная задача состоит в демонстрации относительного приближения значений переменной к определенному базовому интервалу. Скорость изменений функции вне участка допустимых значений существенно меньше, чем в зоне допустимых значений.

На базе этой функции могут быть применены интегральные оценки для отдельных критериев и временных периодов (рис. 4):

$\psi(t) = \max(\psi(x_i))$ – результат оценки состояния для множества i -х критериев при шаге, равном t ;

$\psi = \max(\psi(t)) = \max(\psi(i))$ – результат оценки траектории для определенного пользователем количества шагов и установленного множества критериев;

$\psi(i) = \max(\psi(x_i))$ – результат оценки траектории i -го критерия во временном промежутке t .

Следует принять во внимание следующие допуски:

$\psi(t) = 0$ – функция, характеризующая оптимальное состояние ГТС для интервала моделирования;

$\psi(t) \in [0,1]$ – функция, характеризующая допустимое состояние ГТС по всем заданным параметрам для шага, равного t ;

$\psi \in [0,1]$ – функция, отображающая допустимую траекторию ГТС для заданного пользователем количества шагов и определенного множества критериев;

$\psi = 0$ – функция, отображающая оптимальную траекторию исследуемого объекта для заданного множества критериев и заданного количества шагов;

$\psi(i) \in [0,1]$ – функция, характеризующая допустимую траекторию переменной для определенного пользователем количества шагов;

$\psi(i) = 0$ – функция, характеризующая оптимальную траекторию переменной для заданного количества шагов.

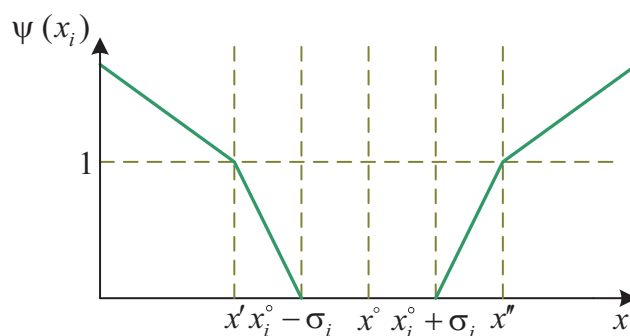


Рис. 4. Вид функции $\psi(x_i)$

Наглядную иллюстрацию технического состояния ГТС в конкретный момент времени представляет стандартная звездчатая диаграмма, демонстрирующая «единичную» зону допустимых значений, а также критерии, значения которых вышли за пределы допустимых (рис. 5). При этом значения функции $\psi(i)$, характеризующей траекторию переменной для определенного количества шагов, будут располагаться в зоне наибольшего луча диаграммы (рис. 6). Траектория переменной описывается зависимостью $\psi(x)$. При этом значение функции $\psi(t)$ соответствует наибольшей ординате графика.

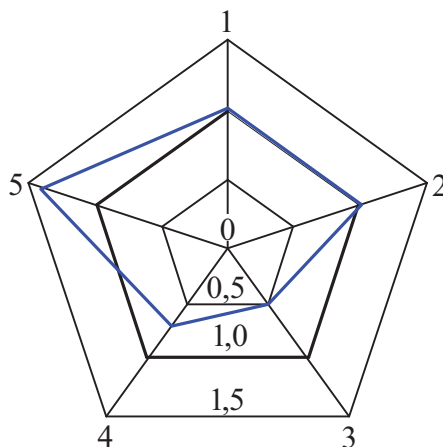


Рис. 5. Отображение состояния в некоторый момент времени

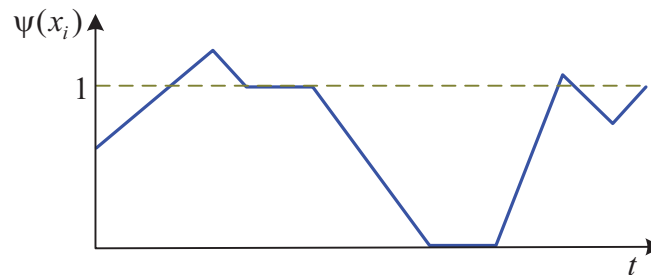


Рис. 6. Отображение траектории переменной

Количество градаций функции можно увеличить. В качестве примера рассмотрим функцию $\psi(x_i)$, имеющую три градации: $\{1; 0,5; 0\}$. Уравнение прямой, как известно, определяемой двумя точками: $\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$, позволяет получить соотношение, соответствующее изменению функции слева и справа от оптимальной окрестности в следующих промежутках значений: $[1; 0,5]$ и $[0,5; 0]$. Тогда соотношение, описывающее вариант изменения функции слева от оптимальной окрестности, будет выглядеть следующим образом:

$$-0,5 \cdot \frac{x_i - x_i^1}{x_i^1 - x_i} + 1 \text{ для } x_i^1 \leq x_i \leq x_i^1;$$

$$-0,5 \cdot \frac{(x_i^o - \sigma_i) - x_i}{(x_i^o - \sigma_i) - x_i^1} + 0,5 \text{ для } x_i^1 \leq x_i \leq x_i^o - \sigma_i,$$

где x_i^1 – переменная, характеризующая нижнюю границу значений.

Соотношение, отражающее вариант изменения функции справа от оптимальной окрестности, будет выглядеть следующим образом:

$$-0,5 \cdot \frac{x_i'' - x_i}{x_i'' - x_i^2} + 1 \text{ для } x_i^2 \leq x_i \leq x_i'';$$

$$-0,5 \cdot \frac{x_i - (x_i^o + \sigma_i)}{x_i^2 - (x_i^o + \sigma_i)} + 0,5 \text{ для } x_i^o + \sigma_i \leq x_i \leq x_i^2,$$

где x_i^2 – переменная, характеризующая верхнюю границу значений.

В примере, предложенном для рассмотрения, значение 0,5 описывает состояние функции ψ в пунктах x_i^1 и x_i^2 .

Для левого интервала монотонности будет справедливым соотношение:

$$-\varphi(x_i^{j+1}) \frac{x_i - x_i^j}{x_i^{j+1} - x_i^j} + \varphi(x_i^j) \text{ для } x_i^j \leq x_i \leq x_i^{j+1},$$

где x_i^{j+1} – переменная, характеризующая пределы значений вложенных интервалов; x_i^j – переменная, отражающая пределы значений поглощающих интервалов.

Для правого интервала монотонности соотношение описывается следующим образом:

$$-\varphi(x_i^{j+1}) \frac{x_i^j - x_i}{x_i^j - x_i^{j+1}} + \varphi(x_i^j) \text{ для } x_i^{j+1} \leq x_i \leq x_i^j.$$

Результаты данных расчетов дают возможность оценить степень приближения процессов, происходящих на конкретном объекте, с их эталоном. Подобные функции могут использоваться для оценки технического состояния причальной стенки (по критериям допустимой рабочей нагрузки, пространственным перемещениям оголовка, напряжениям в анкерных тросах).

Заключение

В данной работе представлен подход к реализации автоматизированной системы, предназначенной для непрерывного контроля деформационных процессов, происходящих в гидротехнических строительных конструкциях. Кроме того, изучена возможность внедрения предупредительной сигнализации, позволяющей своевременно получать информацию о недопустимых изменениях значений контролируемых показателей. Ключевыми конкурентными преимуществами данного измерительного оборудования являются его компактные размеры, низкое энергопотребление, экономичность, а также возможность модификации.

Библиографический список

1. Балонин Н. А. Новые информационные технологии мониторинга гидротехнических сооружений / Н. А. Балонин, П. А. Гарибин, В. Е. Марлей // Журнал университета водных коммуникаций. – 2009. – № 4. – С. 150–154.
2. Балонин Н. А. Перспективы использования информационных технологий для мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений / Н. А. Балонин, П. А. Гарибин, В. Е. Марлей, Г. Г. Рябов // Научно-технические ведомо-

- сти Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2010. – № 93. – С. 171–176.
3. Гарибин П. А. Обеспечение контролеспособности сооружений – один из этапов построения прогнозных моделей / П. А. Гарибин, В. Е. Марлей, Г. Г. Рябов // Журнал университета водных коммуникаций. – 2010. – № 1. – С. 8–14.
 4. Гарибин П. А. Разработка автоматизированной системы для непрерывного контроля технического состояния гидротехнических сооружений / П. А. Гарибин, В. Е. Марлей, Е. О. Ольховик, С. В. Шабанов // Гидротехника, XXI век. – 2013. – № 2. – С. 50–53.
 5. Устинов А. В. Технология спутникового геодезического мониторинга гидротехнических сооружений / А. В. Устинов // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 6. – С. 39–43.
 6. Арифудин Е. З. Методология мониторинга чрезвычайных ситуаций, связанных с авариями на гидротехнических сооружениях / Е. З. Арифудин, В. И. Федянин, А. С. Мальцев, А. В. Калач // Вестник воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. – № 2. – С. 28–35.
 7. Малько А. В. Организация мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС (Вилуйской ГЭС-3) / А. В. Малько // Гидротехническое строительство. – 2012. – № 12. – С. 2–10.
 8. Лазаренко М. Л. Система мониторинга и управления температурой в климатической камере / М. Л. Лазаренко, Л. М. Лазаренко // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – № 5. – С. 67–71.
 9. Гаврильев А. Л. Использование аппаратной вычислительной платформы «Arduino» для удаленного мониторинга блок-боксов / А. Л. Гаврильев, Д. Ю. Берчук, Д. В. Журавлев // Сб. тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – Томск : Национальный исслед. Томский политехнический университет, 2013. – С. 229–231.
 10. Насонов Г. Ф. Вибродиагностика контактной подвески на линии Санкт-Петербург – Москва / Г. Ф. Насонов, Г. В. Осадчий, Д. В. Ефанов, Д. В. Седых, Д. Н. Пристенский // Транспорт Российской Федерации. – 2016. – № 2–3. – С. 49–53.
 11. Ефанов Д. В. Подсистема мониторинга вибрационных воздействий на провода и тросы контактной подвески / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. В. Седых, Д. Н. Пристенский, Д. В. Барч // Транспорт Урала. – 2016. – № 3. – С. 36–42.
 12. Efanov D. Monitoring system of vibration impacts on the structure of overhead catenary of high-speed railway lines / D. Efanov, G. Osadchy, D. Sedykh, D. Pristensky, D. Barch // Proceedings of 14th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016), Erevan, Armenia, October 14–17, 2016. – Pp. 201–208.
 13. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino / У. Соммер. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.
 14. Ардуино, инструмент для проектирования электронных устройств. Сайт производителя. – URL : <http://arduino.ru>.

*Vladimir E. Marley, Andrey V. Makshanov,
Pavel A. Garibin, Evgeny O. Ol'khovik, Andrey Yu. Oleynik*
Computer systems and computer studies department
Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping

Information system of deformation processes monitoring of hydraulic structures, based on internet technologies and microcontrollers

The paper presents a brand new technology that allows to monitor the deformation processes that occur in the construction part of the hydraulic structures. It describes the characteristics of equipment developed for measurements and the principles of its operation, as well as methods of organizing the system of incoming data record keeping and analysis. The difference from all already presented developments is using of an open-source technologies and Arduino platform for software creating. The article presents a measuring complex with network structure, that provides the possibility of creating the network for efficient management of technical state of hydraulic structures in the shortest time and at economically reasonable costs. The article also proposes the approaches for the assessment of the features of the current state of the construction part of the hydraulic structures on the basis of integral criteria. This is the foundation of reliability and uniformity within the analysis of incoming data. The article justifies the possibility of development of a warning system, that is able to provide an effective and timely notice of unacceptable operation modes of hydraulic structures.

control systems, hydraulic structures, deformation processes, check measurements, complex analysis

References

1. Balonin N. A., Garibin P. A., Marley V. E. (2009). New information technologies for hydraulic structures monitoring [Novyye informatsionnyye tekhnologii monitoringa gidrotekhnicheskikh sooruzheniy]. Journal of the University of waterways [Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy], issue 4, pp. 150–154.
2. Balonin N. A., Garibin P. A., Marley V. E., Ryabov G. G. (2010). Prospects for using of information technologies for hydraulic structures monitoring [Perspektivy ispol'zovaniya informatsionnykh tekhnologiy dlya monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Scientific and technical gazette of St.Petersburg Polytechnic University [Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta], issue 93, pp. 171–176.
3. Garibin P. A., Marley V. E., Ryabov G. G. (2010). Providing the testability of structures – as one of the stages for forecast models building [Obespecheniye kontrolesposobnosti sooruzheniy – odin iz etapov postroyeniya prognoznykh modeley]. Journal of the University of waterways [Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy], issue 1, pp. 8–14.

4. Garibin P.A., Marley V.E., Ol'khovik E. O., Shabanov S.V. (2013). Design of automated system for continuous control of technical state of hydraulic structures [Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy dlya nepreryvnogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy]. Hydraulic engineering of the 21st century [Gidrotekhnika XXI VEK], issue 2, pp. 50–53.
5. Ustinov A. V. (2014). Technology of satellite geodetic monitoring of hydraulic structures [Tekhnologiya sputnikovogo geodezicheskogo monitoringa gidrotekhnicheskikh sooruzheniy]. Hydraulic engineering development [Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo], issue 6, pp. 39–43.
6. Arifulin E. Z., Fedyanin V. I., Mal'tsev A. S., Kalach A. V. (2013). Techniques for monitoring of emergency situations, connected with hydraulic structures accidents [Metodologiya monitoringa chrezvychaynykh situatsiy, svyazannykh s avariymi na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh]. Bulletin of Voronezh Institute of GPS MChS of Russia [Vestnik voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii], issue 2, pp. 28–35.
7. Mal'ko A. V. (2012). Organization of monitoring of technical state of hydraulic structures for Hydroelectric power plant Svetlinskaya [Vilyuiskaya GES-3] [Organizatsiya monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Svetlinskoy GES [Vilyuyskoy GES-3]]. Hydraulic engineering development [Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo], issue 12, pp. 2–10.
8. Lazarenko M. L., Lazarenko L. M. (2014). System for monitoring and control of the temperature in climatic chamber [Sistema monitoringa i upravleniya temperaturoy v klimaticheskoy kamere]. International technical and economics journal [Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal], issue 5, pp. 67–71.
9. Gavril'ev A. L., Berchuk D. Yu., Zhuravlev D. V. (2013). Application of hardware computational framework Arduino for remote monitoring of block-boxes [Ispol'zovaniye apparatnoy vychislitel'noy platformy «Arduino» dlya udalennogo monitoringa blok-boksov]. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference of undergraduates, postgraduates and young scientists «Youth and modern information technologies» [Sbornik trudov XI Mezhdunarodnoy nauchnoy prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Molodezh' i sovremennyye informatsionnyye tekhnologii»]. Tomsk, National research Tomsk Polytechnic University [Tomsk, Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy politekhnicheskii universitet], pp. 229–231.
10. Nasonov G. F., Osadchy G. V., Efanov D. V., Sedykh D. V., Pristensky D. N. (2016). Vibration monitoring of overhead catenary at St. Petersburg-Moscow line [Vibrodiagnostika kontaktnoy podveski na linii Sankt-Peterburg – Moskva], Transport of the Russian Federation [Transport Rossiyskoy Federatsii], issue 2–3, pp. 49–53.
11. Efanov D. V., Osadchy G. V., Sedykh D. V., Pristensky D. N., Barch D. V. (2016). Subsystem of vibration impacts monitoring on the cables and cords of overhead catenary [Podsystema monitoringa vibratsionnykh vozdeystviy na provoda i trosy kontaktnoy podveski]. Ural Transport [Transport Urala], issue 3, pp. 36–42.
12. Efanov D., Osadchy G., Sedykh D., Pristensky D., Barch D. (2016). Monitoring system of vibration impacts on the structure of overhead catenary of high-speed railway lines. Proceedings of 14th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016), Erevan, Armenia, October 14–17, 2016, pp. 201–208.

13. Sommer W. (2012). Programming of microcontroller boards Arduino/Freduino [Programmirovaniye mikrokontrollernykh plat]. St. Petersburg, Publishing house BkhV-Peterburg, 256 p.
14. Arduino: tool for electronics design. [electronic resource]. Manufacturer web-page, <http://arduino.ru>.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым
Поступила в редакцию 19.01.2016, принята к публикации 08.04.2016*

МАРЛЕЙ Владимир Евгеньевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Вычислительные системы и информатика» Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; Санкт-Петербург, Россия.
e-mail: vmarley@mail.ru

МАКШАНОВ Андрей Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительные системы и информатика» Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; Санкт-Петербург, Россия.
e-mail: andrey.makshanov@mail.ru

ГАРИБИН Павел Андреевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Гидротехнические сооружения, конструкции и гидравлика» Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; Санкт-Петербург, Россия.
e-mail: garibin@mail.ru

ОЛЬХОВИК Евгений Олегович – кандидат технических наук, доцент, начальник управления научно-инновационной деятельности Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; Санкт-Петербург, Россия.
e-mail: OlhovikEO@gumrf.ru

ОЛЕЙНИК Андрей Юрьевич – аспирант кафедры «Вычислительные системы и информатика» Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; Санкт-Петербург, Россия.
e-mail: oleynik89@gmail.com

© Марлей В. Е., Макшанов А. В., Гарибин П. А., 2017
© Ольховик Е. О., Олейник А. Ю., 2017