

Оригинальная статья

УДК 502/504:627.8:004.05

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-73-78

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС

**АНТОНОВ АНТОН СЕРГЕЕВИЧ** , канд. техн. наук, директор Аналитического центра безопасности оборудования

Antonov.An.S@yandex.ru

eLIBRARY SPIN-код: 7374-6867, ORCID: 0000-0002-8310-9604

**РУБИН ОЛЕГ ДМИТРИЕВИЧ**, д-р техн. наук, директор филиала

o.rubin@hydroproject.ru

eLIBRARY SPIN-код: 2720-6627

**КОБОЧКИНА ЕКАТЕРИНА МИХАЙЛОВНА**, зам главного инженера по гидротехническим сооружениям

Ekaterina\_mk1@mail.ru

Проектно-изыскательский и НИИ «Гидропроект» им. С.Я. Жука» – «НИИ Энергетических Сооружений»; 125080, Москва, шоссе Волоколамское, 2, Россия

*Необходимость создания единой унифицированной информационно-диагностической системы для обеспечения безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений вызвана требованиями Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117-ФЗ. На текущий момент используемые системы разнородны и разрабатываются по требованиям эксплуатации и экспертных организаций, при этом не обеспечиваются единство терминологии и подход к оценке состояния объектов. Целью работы являются определение подходов и разработка архитектуры унифицированной информационно-диагностической системы. При этом необходимо обеспечить выполнение минимального набора функций, необходимых для комплексного анализа состояния гидротехнических сооружений. В статье представлено описание архитектуры и базового набора функций информационной системы, которые позволяют обеспечить контроль за состоянием гидротехнических сооружений. Проведена систематизация функционала существующих информационных систем, на основе анализа разработан оптимальный состав минимального количества функций, которые обеспечивают контроль за безопасной эксплуатацией гидротехнических сооружений.*

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, программно-аппаратный комплекс, информационно-диагностические системы, мониторинг, прогнозирование безопасности

**Формат цитирования:** Антонов А.С., Рубин О.Д., Кобочкина Е.М. Совершенствование информационно-диагностической системы программно-аппаратного комплекса для обеспечения безопасности ГТС // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 73-78. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-1-73-78.

© Антонов А.С., Рубин О.Д., Кобочкина Е.М., 2021

Original article

## IMPROVEMENT OF THE INFORMATION AND DIAGNOSTIC SYSTEM OF THE SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX TO ENSURE THE SECURITY OF GTS

**ANTONOV ANTON SERGEEVICH** , candidate of technical sciences, director of the Analytical Center for Equipment Security

Antonov.An.S@yandex.ru

eLIBRARY SPIN-code 7374-6867

ORCID: 0000-0002-8310-9604

**RUBIN OLEG DMITRIEVICH**, *doctor of technical sciences, director of branch*

o.rubin@hydroproject.ru  
eLIBRARYSPIN-code: 2720-6627

**KOBOCHKINA EKATERINA MIKHAILOVNA**, *deputy chief engineer on hydro technical structures*

Ekaterina\_mk1@mail.ru

Design – survey and Research institute "Hydroproject" named after S.Ya. Zhuk - "PowerFacilities"; 125080, Moscow, Volokolamskoe shosse, 2. Russia

*The need to create a single unified information and diagnostic system to ensure the safe operation of hydraulic structures is caused by the requirements of the Federal Law "On the safety of hydraulic structures" (No. 117-FZ). At the current moment, the systems used are heterogeneous and are being developed according to the requirements of operation and expert organizations, while the uniformity of terminology and approach to assessing the state of objects is not ensured. The purpose of this work is to define approaches and to develop architecture for a unified information and diagnostic system. At the same time, it is necessary to ensure the performance of the minimum set of functions necessary for a comprehensive analysis of the state of hydraulic structures. There is given a description of the architecture and basic set of functions of the information system which make it possible to monitor the state of hydraulic structures. The systematization of the functionality of the existing information systems has been carried out, on the basis of the analysis the optimal composition of the minimum number of functions which provide control over the safe operation of hydraulic structures has been developed.*

**Keywords:** *hydraulic structures, hydraulic structures, hardware and software complex, information and diagnostic systems, monitoring, safety forecasting*

**Format of citation:** *Antonov A.S., Rubin O.D., Kobochkina E.M. Improvement of the information and diagnostic system of the software and hardware complex to ensure the security of GTS // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 1. – S. 73-78. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-1-73-78.*

**Введение.** С целью обеспечения безопасности гидротехнических сооружений в рамках реализации Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117-ФЗ в филиале АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК) [1-5] для мониторинга фактического состояния гидротехнических сооружений (ГТС) с возможностью прогнозирования состояния сооружения в процессе длительной эксплуатации, в том числе при выполнении инженерных и технических мероприятий. Одной из важнейших составляющих ПАК (ее главным модулем) является информационно-диагностическая система. В статье приводится описание информационно-диагностической системы, в том числе ее архитектуры и оптимального набора функций.

**Материалы и методы исследований.** Основной задачей ПАК (рис. 1) является комплексный анализ текущего состояния сооружений и их оснований для повышения надежности эксплуатации ГТС. При этом выполняются анализ рисков изменения и прогнозирование состояния ГТС и основания на протяжении всего жизненного цикла объекта, в том числе:

- сценарное моделирование нештатных (аварийных) ситуаций в рамках вероятных сценариев;

- оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) отдельных систем «Сооружение-основание»: по данным мониторинга, в местах, неоснащенных контрольно-измерительной аппаратурой; сравнение с критериями безопасности; оценка запасов надежности;

- контроль, анализ и прогнозирование НДС грунтового основания, расчет осадок и оценка состояния в зонах, неоснащенных контрольно-измерительной аппаратурой (КИА), расчет устойчивости склонов, сравнение с предельными значениями.

Одним из главных модулей в ПАК является информационно-диагностическая система (ИДС), предназначенная для накопления, хранения, обработки и анализа данных природных наблюдений.

**Результаты и их обсуждение.** Современные требования к информационным системам ежегодно возрастают, и появилась необходимость создания унифицированной ИДС (далее – УИДС) на основе единой программной оболочки, способной объединить ИДС различного назначения в единую Корпоративную систему, с единой терминологической базой, идентичным подходом к статистической обработке данных, которая позволяет оперативно проводить оценку и прогнозирование безопасности и надежности ГТС с единым подходом для всех сооружений.

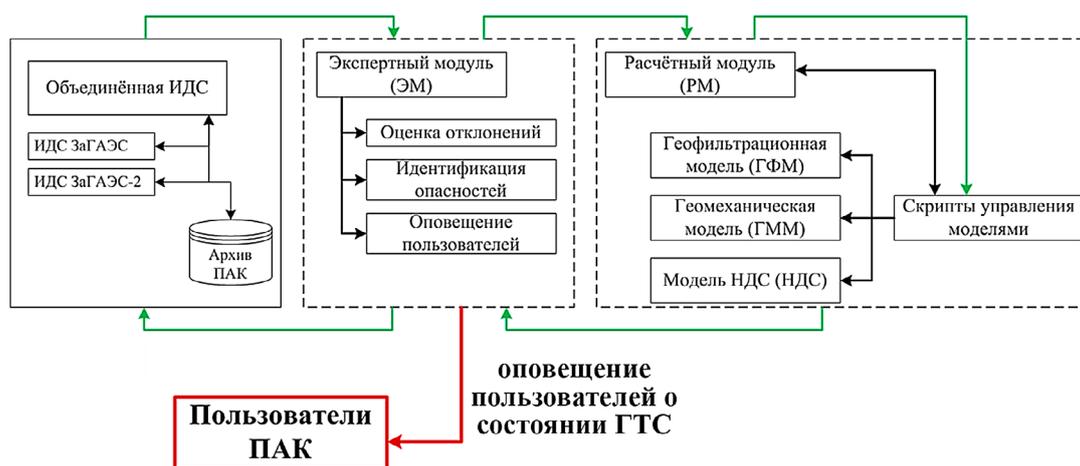


Рис. 1. Модульная структура ПАК со схемой реализации процессов  
 Fig. 1. Modular structure PAC with the scheme of realization of processes

Целью настоящей работы являются определение подходов и разработка архитектуры УИДС. При этом необходимо обеспечить выполнение минимального набора функций – таких, как:

- накопление и хранение данных в едином информационном хранилище (архиве данных);
- графическое отображение на плоских и пространственных моделях конструкций ГТС и схем размещения КИА;
- оперативная диагностика состояния ГТС на основе критериальных и расчетных значений;
- выполнение статистического анализа данных натуральных наблюдений с целью установления причинно-следственных связей динамики изменения параметров ГТС;
- визуализация данных наблюдений (построение таблиц, графиков, эшор и др.);
- проведение комплексного анализа состояния ГТС по данным натуральных наблюдений;
- подготовка отчетных материалов единого образца;
- планирование и возможность оценки результатов ремонтов ГТС.

Для удовлетворения перечисленных условий необходима интеграция в УИДС математического аппарата, позволяющего обеспечить выполнение анализа состояния ГТС на основе статистических и регрессионных математических моделей. При этом необходимо предусмотреть возможность работ с большими базами данных – в частности, натуральных наблюдений, характеризующих поведение сооружений за прошлые периоды. Связь опыта эксплуатации на основе вскрытых повреждений и уникальных

случаев позволяет комплексно оценивать ГТС по ряду косвенно взаимосвязанных показаний КИА.

Современные средства вычислительной техники позволяют интегрировать в ИДС результаты расчетных исследований состояния гидротехнических сооружений, тем самым определяя взаимосвязь косвенных показателей и дополняя базу данных недостающими данными для комплексной оценки состояния сооружений.

Интеграция расчетных математических моделей в УИДС позволяет в случае необходимости проводить дополнительные расчеты на основе уже верифицированных моделей с граничными условиями на конкретный период, что улучшает качество прогноза состояния уникальных объектов. При этом расчетные математические модели сооружений гидроузлов могут применяться как в упрощенном схематическом виде для оценки отдельных параметров сооружения, так и в качестве учитывающих физические и геометрические нелинейности поведения конструкций и материалов.

Отдельным значимым элементом УИДС является разработка единого подхода к обработке информации, поступающей с автоматизированных систем контроля и КИА. Для этого необходимо унифицировать и разработать единый реестр терминов, включающих в себя тип КИА, состояние КИА и ГТС, виды наблюдений и другую информацию.

Дополнительно в оперативном режиме для эксплуатационного персонала должен быть доступен следующий функционал:

- мониторинг состояния ГТС;
- оценка состояния ГТС;

- декларирование безопасности ГТС;
- учет мероприятий по результатам комиссионных обследований и проверок надзорными органами;
- планирование мероприятий по повышению безопасности и надежности ГТС;
- доступ к прикладным и нормативным документам.

Удовлетворение всех условий и функций возможно только при многоуровневой архитектуре, где:

1-й уровень – базовый уровень, необходимый для первичной оценки, в состав которого входят:

- формирование и обновление парка КИА, ввод новых приборов, корректировка существующих;
- ввод данных инструментальных наблюдений КИА;
- формирование функциональных групп КИА для ввода показаний по группам приборов;
- контроль ошибок ввода и интерактивное взаимодействие с пользователем при их обнаружении;
- ведение базы данных инструментальных и визуальных наблюдений и представление результатов диагностики гидротехнических сооружений;
- возможность задания параметров и алгоритмов обработки данных;
- ведение журналов технического состояния ГТС;
- формирование алгоритмов связи расположения КИА с пространственными моделями и чертежами;
- формирование сводных справочных данных по запросу пользователя;
- предоставление и визуализация паспортных характеристик и информации о конструктивных особенностях и условиях работы сооружения;
- контроль соблюдения графиков проведения инструментальных и визуальных наблюдений;
- контроль исполнения мероприятий, назначенных надзорными органами и в ходе комиссионных обследований ГТС.

2-й уровень – единое информационное хранилище (единая база данных системы), в состав которого входят:

- интеграция локальных ИДС, установленных на объектах, в единое информационное хранилище на основе Big Data;
- алгоритмы математического анализа, позволяющие выполнять обработку

показаний КИА и осуществлять пересчет значений в физические величины;

- статистический анализ данных натурных наблюдений на основе методов классической статистики дисперсия, расстояния Кульбака-Лейблера и т.д., решений задач регрессии, линейные, полносвязные, рекуррентные и другие нейросети;

- автоматический расчет диагностических показателей состояния и критериев безопасности (K1, K2);

- автоматизированная и оперативная диагностика состояния ГТС путем сравнения контролируемых диагностических показателей с их критериальными значениями (критериями безопасности);

- автоматизированное формирование и рассылка сигнальных сообщений об изменении состояния ГТС подконтрольных станций;

- разработка и построение регрессионных зависимостей изменения параметров на основании решения задач на математических моделях;

- отказоустойчивость и безопасность системы;

- многопользовательский доступ по локальной и глобальной сети к результатам всех видов наблюдений и их графическому представлению с рабочих мест;

3-й уровень – блок представления информации – предназначен для формирования углубленной экспертной оценки состояния ГТС. На третьем уровне пользователям становятся доступны:

- информационно-статистическая модель, основанная на теории классической статистики и нейросетевых подходов;

- отчетные материалы единого образца;

- графическое представление результатов инструментальных и визуальных наблюдений (построение эпюр, карт изолиний и др.);

- результаты оперативной диагностики состояния ГТС;

- формы визуализации данных наблюдений;

- ретроспективный анализ данных натурных наблюдений;

- комплексный анализ состояния ГТС;

- результаты расчетных исследований;

- формирование граничных условий для выполнения расчетов.

Информационный обмен между компонентами системы осуществляется

посредством существующей локальной вычислительной сети по протоколам ТСР/IP/НТТР(S)/TDS/SMTP.

Общая структура УИДС представлена на рисунке 2.

Архитектура системы предполагает разработку базовой версии локального программного обеспечения УИДС модульной структуры, которое устанавливается на объектах и заменяет имеющиеся локальные ИДС. Весь функционал существующих ИДС при замене сохраняется. Данные из локальной ИДС автоматически передаются в единую базу данных УИДС.

Общий вид архитектуры системы представлен на рисунке 3.

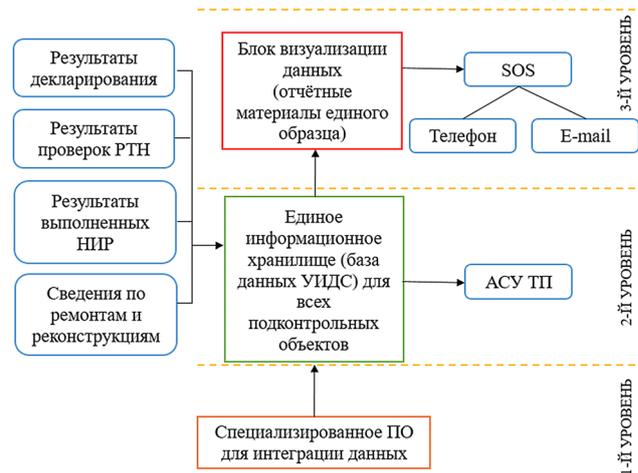


Рис. 2. Структура УИДС

Fig. 2. Structure UIDC



Рис. 3. Архитектура УИДС

Fig. 3. Architecture UIDC

### Выводы

1. УИДС – это унифицированное локальное ПО для внедрения на любых уникальных сооружениях.

2. Реализация УИДС на объектах позволяет обеспечить:

- многопользовательский доступ по локальной и глобальной сети к результатам всех видов наблюдений и их графическому представлению с рабочих мест;
- унификацию форм предоставления данных для комплексного подхода к оценке состояния ГТС;

- отказоустойчивость и информационную безопасность системы, развернутой на внутренних серверах с возможностью резервирования;

- отказ от локальных ИДС, требующих поддержки и обслуживания специализированными сторонними организациями;

- контроль состояния КИА и выполнения работ по инструментальным исследованиям и визуальным обследованиям.

### Библиографический список

1. Концепция построения архитектуры программно-аппаратного комплекса для мониторинга состояния гидротехнических сооружений / М.Э. Лунаци Ю.Б. Шполянский, В.Ю. Соболев и др. // Гидротехническое строительство. – 2016. – № 5. – С. 2-6.

2. Рубин О.Д., Соболев В.Ю. Техническая реализация программно-аппаратного комплекса для мониторинга состояния и прогнозирования безопасности гидротехнических сооружений и их оснований // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 41-46.

3. Соболев В.Ю. Создание системы прогнозирования безопасности и надежности гидротехнических сооружений ГЭС и ГАЭС // Природообустройство. – 2017. – № 2. – С. 6-11.

4. Разработка расчетного модуля программно-аппаратного комплекса для обеспечения безопасности взаимодействующих ГТС / О.Д. Рубин, А.С. Антонов, Е.Н. Беллендир и др. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2019. – Т. 15. – № 2. – С. 96-105. DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-2-96-105.

5. Информационно-диагностическая система – обязательный элемент контроля технического состояния гидротехнических сооружений / Г.Ю. Бердичевский, В.И. Щербина, М.С. Галямина и др. // Гидротехническое строительство. – 2009. – № 8. – С. 14-18.

6. Алферов А.В. Мониторинг гидротехнических сооружений // Материалы Студенческой научно-практической конференции «Новые технологии в инженерии» (Москва, 16 апреля 2013 г.). – М.: 2013. – С. 150-161.

7. Методический подход к созданию многоуровневых информационно-диагностических систем в гидротехнике / С.Л. Арташенков, В.Н. Дурчева, И.И. Загрядский и др. // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2006. – № 1 (43). – С. 98-105.

### Критерии авторства

Антонов А.С., Рубин О.Д., Кобочкина Е.М. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Антонов А.С., Рубин О.Д., Кобочкина Е.М. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию: 16.11.2020 г.

Одобрена после рецензирования 11.01.2021 г.

Принята к публикации 14.01.2021 г.

### References

1. Kontseptsiya postroeniya arhitektury programmno-apparatnogo kompleksa dlya monitoringa sostoyaniya gidrotehnicheskikh sooruzhenij / Lunatsi M.E., Shpolyansky Yu.B., Sobolev V.Yu. i dr. // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2016. – № 5. – S. 2-6.

2. Rubin O.D., Sobolev V.Yu. Technicheskaya realizatsiya programmno-apparatnogo kompleksa dlya monitoringa sostoyaniya i prognozirovaniya bezopasnosti gidrotehnicheskikh sooruzhenij i ih osnovanij // Prirodobustrojstvo. – 2017. – № 1. – S. 41-46.

3. Sobolev V.Yu. Sozдание sistemy prognozirovaniya bezopasnostii nadezhnosti gidrotehnicheskikh sooruzhenij GES i GAES // Prirodobustrojstvo. — 2017. – № 2. – S. 6-11.

4. Razrabotka raschetnogo modulya programmno-apparatnogo kompleksa dlya obespecheniya bezopasnosti vzaimovliyayushchih GTS / Rubin O.D., Antonov A.S., Bellendir E.N. i dr. // Stroitel'naya mehanika inzhenernykh konstruksij i sooruzhenij. – 2019. – T. 15. – № 2. – S. 96-105. DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-2-96-105

5. Informatsionno-diagnosticheskayasisistema – obyazatelnyelement kontrolya tehničeskogo sostoyaniya gidrotehnicheskikh / Berdichevsky G.Yu., Shcherbina V.I., Galyamina M.S. // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2009. – № 8. – S. 14-18.

6. Alferov A.V. Monitoring gidrotehnicheskikh sooruzhenij // Studencheskaya nauchno-prakt. konf. "Novye tehnologii v inzhenerii". Moskva, 16 aprelya 2013 goda. – M.: 2013. – S. 150-161.

7. Metodichesky podhod k sozdaniyu mnogourovnevnykh informatsionno-diagnosticheskikh system v gidrotehnike / Artashenok S.L., Durcheva V.N., Zagryadsky I.I. i dr. // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPBG TU. – 2006. – № 1 (43). – S. 98-105.

### Criteria of authorship

Antonov A.S., Rubin O.D., Kobochkina E.M. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Antonov A.S., Rubin O.D., Kobochkina E.M. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism

### Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 16.11.2020

Approved after reviewing 11.01.2021

Accepted for publication 14.01.2021