

05.23.00 Строительство и архитектура

УДК 502/504:627.8:69.059

В.Ю. СОБОЛЕВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», г. Москва,
Российская Федерация

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС И ГАЭС

В целях прогнозирования безопасности и надежности гидротехнических сооружений ГЭС и ГАЭС разрабатывается программно-аппаратный комплекс, включающий в себя информационно-диагностическую систему и расчетный модуль. На примере пилотного объекта (Загорских ГАЭС) представлено создание системы прогнозирования безопасности и надежности комплекса гидротехнических сооружений с грунтовым основанием. Основой комплекса является геологическая модель основания двух ГАЭС, в которой определена геологическая структура основания. На основе этой геологической модели строится геофильтрационная модель основания, для верификации которой из действующей информационно-диагностической системы (ИДС) передаются исходные данные по внешним воздействиям и данные наблюдений по пьезометрам в рассматриваемой области. В результате создания программно-аппаратного комплекса на основе ИДС создается единый расчетный модуль грунтового основания и бетонных сооружений двух ГАЭС, с помощью которого можно будет рассчитывать различные сценарии возможных воздействий, влияющих как на состояние основания, так и на состояние конструкций. Кроме того, в результате расчетов для существующей контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) будут определены критериальные значения показателей состояния. Предлагаемый проект архитектуры ПАК включает в себя следующие структурные компоненты верхнего уровня: информационно-диагностический блок (функционирующая ИДС с необходимыми модификациями); расчетный блок, объединяющий модели сооружений, геомеханические и геофильтрационные модели в единую подсистему; связующий модуль обмена данными между блоками; управляющий модуль адаптации (уточнения по данным КИА) математических моделей. Таким образом, предлагаемый подход к созданию системы прогнозирования безопасности и надежности ГЭС ГЭС и ГАЭС реализуется в виде блоков расчетных модулей и позволяет определять сценарии возможных воздействий, влияющих на основание и сооружения.

Надежность и безопасность, гидротехнические сооружения, грунтовое основание, система прогнозирования, программно-аппаратный комплекс, сценарии возможных воздействий.

Введение. Целью работы является создание на примере пилотного проекта двух Загорских ГАЭС программно-аппаратного комплекса (ПАК) для мониторинга состояния гидротехнических сооружений (ГТС), а также для прогнозирования воздействий при выполнении инженерных мероприятий. Общая принципиальная схема такого комплекса приведена на рисунке 1.

Основные принципы формирования ПАК

Основой комплекса является геологическая модель основания двух ГАЭС, в которой определена геологическая структура основания и каждому элементу этой структуры которой присвоены физико-механические, а при необходимости – прочностные характеристики грунтов для всех элементов структуры.

На основе этой геологической модели строится геофильтрационная модель основания, где совершенно отчетливо должны быть обозначены структурные элементы основания, являющиеся вмещающими породами для фильтрационного потока.

Для верификации модели из действующей информационно-диагностической системы (ИДС) передаются исходные данные по внешним воздействиям и данные наблюдений по пьезометрам в рассматриваемой области.



Рис. 1. Принципиальная схема программно-аппаратного комплекса (ПАК)

После выполнения верификации на модели проигрываются заранее подготовленные сценарии изменения внешних воздействий. На основании этих результатов определяются предельно допустимые значения по каждому из пьезометров, установленных в основании. Полученные значения передаются в ИДС, и им присваивается статус критериальных значений. При поступлении новых пьезометрических значений система сравнивает их с критериальными показателями, и в случае превышения или одного, или нескольких показателей формируется сигнал опасности, требующий проверки и принятия мер. Полученные для различных сценариев фильтрационные режимы накладываются на геологическую модель для построения геомеханической модели. Основными действующими факторами являются изменения фильтрационных напоров и изменения характеристик грунтов, обводняемых при изменении депрессионной поверхности. На основании геомеханической модели определяется напряженно-деформируемое состояние основания и, в частности, в зоне оползневых склонов.

При существенном изменении (при различных сценариях) напряженно-деформированного состояния основания определяются показатели состояния и их критериальные значения.

Основными показателями состояния являются значения осадок и горизонтальных перемещений, наблюдаемые на водоприемниках и напорных трубопроводах. Критериальные значения осадок и горизонтальных смещений, полученные из различных сценариев, назначаются соответственно по осадочным меркам и маркам для створных наблюдений. Данные инклинометрических наблюдений рассматриваются как дополнительные, и по ним показатели состояния не назначаются. Полученное в результате расчетов напряженно-деформированное состояние в зоне водоприемников, здания ГАЭС и трубопроводов передается в ИДС и затем – в качестве исходных данных для расчета напряженно-деформированного состояния системы «Бетонное сооружение-основание» отдельных сооружений (модели сооружений разрабатываются с учетом имеющегося опыта моделирования гидросооруже-

ний Загорских ГАЭС [1-4]). Задачей расчетов является определение зон роста напряжений при различных сценариях деформирования основания и определения предельно допустимых значений деформации с точки зрения роста напряжений в конструкциях. Данные расчетов поступают в ИДС в качестве контролируемых показателей состояния железобетонных конструкций.

Таким образом, в качестве прогнозных моделей, определяющих поведение основания и конструкций, являются сценарии, принятые для расчетов фильтрационной модели, определяемые в свою очередь возможными внешними воздействиями при восстановлении здания ГАЭС или при развитии других неблагоприятных факторов.

В результате создания программно-аппаратного комплекса на основе ИДС создается единый расчетный модуль грунтового основания и бетонных сооружений двух ГАЭС, с помощью которого можно будет рассчитывать различные сценарии возможных воздействий, влияющих на состояние как основания, так и конструкций. Кроме того, в результате расчетов для существующей контрольно-измерительной аппарату-

ры (КИА) будут определены критериальные значения показателей состояния.

Все расчётные модели привязаны к ИДС. Визуализация результатов расчетных моделей происходит как через двумерную, так и трехмерную модели.

Результаты разработки архитектуры ПАК

Предлагаемый проект архитектуры ПАК (рис. 2, 3) (табл. 1) включает в себя следующие структурные компоненты верхнего уровня:

1. Информационно-диагностический блок (функционирующая ИДС с необходимыми модификациями).
2. Расчетный блок, объединяющий модели сооружений (программный комплекс ANSYS), геомеханические (программный комплекс MIDASGTS) и геофильтрационные (программный комплекс MODFLOW) модели в единую подсистему.
3. Связующий модуль обмена данными между блоками 1 и 2.
4. Управляющий модуль адаптации (уточнения по данным КИА) математических моделей.

Таблица 1

Описание связей

Обозначение связи	Описание
A1	Данные КИА, информация по размещению и состоянию датчиков, данные натурных обследований, критериальные параметры безопасности
A2	Результаты расчетов: распределения перемещений, напряжений, гидродинамических напоров, коэффициенты запаса по прочности, устойчивости и надежности
A3, A4, A5	Потоки данных отдельных моделей (ANSYS, MIDASGTS, MODFLOW)
A6	Входные параметры моделей
A7	Выходные параметры моделей
B1	Жесткостные характеристики оснований, перемещения массива и поверхности грунта
B2	Массогабаритные характеристики сооружений, распределение давлений под фундаментом
B3	Поля противодавлений в основаниях сооружений
B4	Массогабаритные характеристики сооружений
B5	Механические и структурные характеристики грунтового массива
B6	Водонасыщенность грунта
C1	Показания КИА: перемещения, деформации конструкций, контактные напряжения, графики изменений температуры, напряжения в арматуре
C2	Поля расчетных перемещений, деформаций, напряжений, коэффициенты запаса прочности, устойчивости и надежности основных сооружений
C3	Осадки и горизонтальные смещения грунта (показания КИА)
C4	Расчетные перемещения оснований и склонов, характеристики устойчивости склонов
C5	Показания пьезометров, измерителей уровня воды, преобразователей фильтрационного давления
C6	Поля фильтрационных напоров

Модуль обмена данными представляет собой набор программ, организующих взаимодействие расчетных моделей и ИДС. Данный модуль инкапсулирует информацию о форматах данных, используемых ИДС и расчетными программными пакетами, параметрах моделей, особенностях функционирования (запуска на расчет, получения результатов) используемых программных комплексов. Таким образом, предлагается упростить схему взаимодействия ИДС с про-

граммным обеспечением, предназначенным для математического моделирования.

Модуль адаптации моделей управляет итерационным процессом уточнения связанных математических моделей сооружений/основания для обеспечения соответствия моделей данным КИА и натурных наблюдений. Модуль включает в себя процедуры оптимизации, калибровки численных моделей. Предлагаемый язык реализации – Python 3.4.

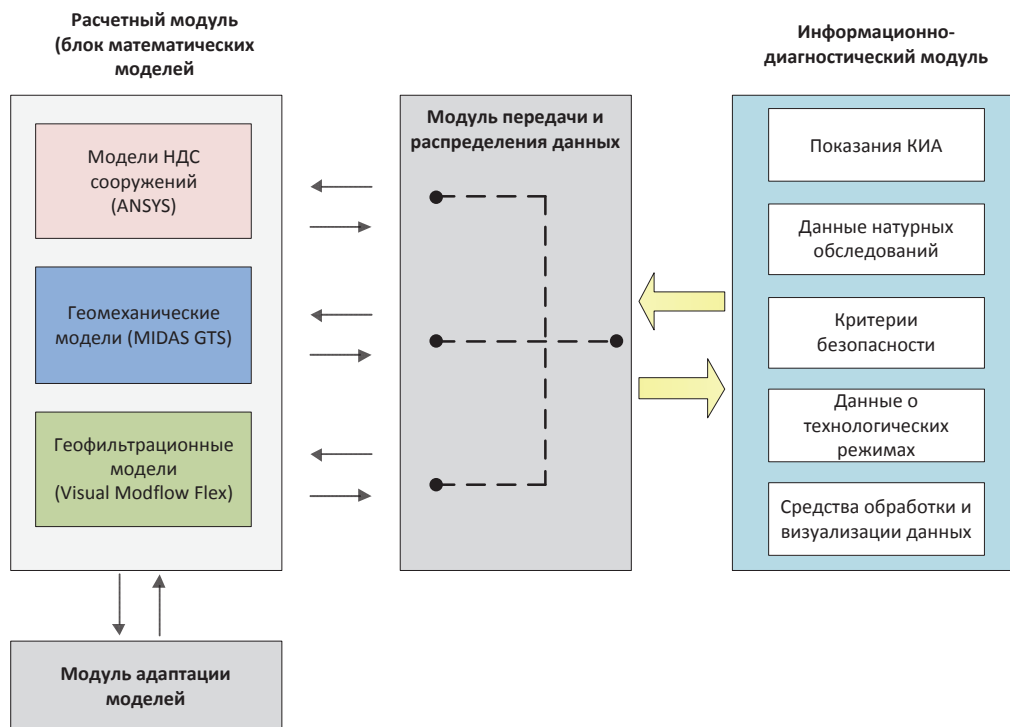


Рис. 2. Общая структурная схема ПАК (схема верхнего уровня)

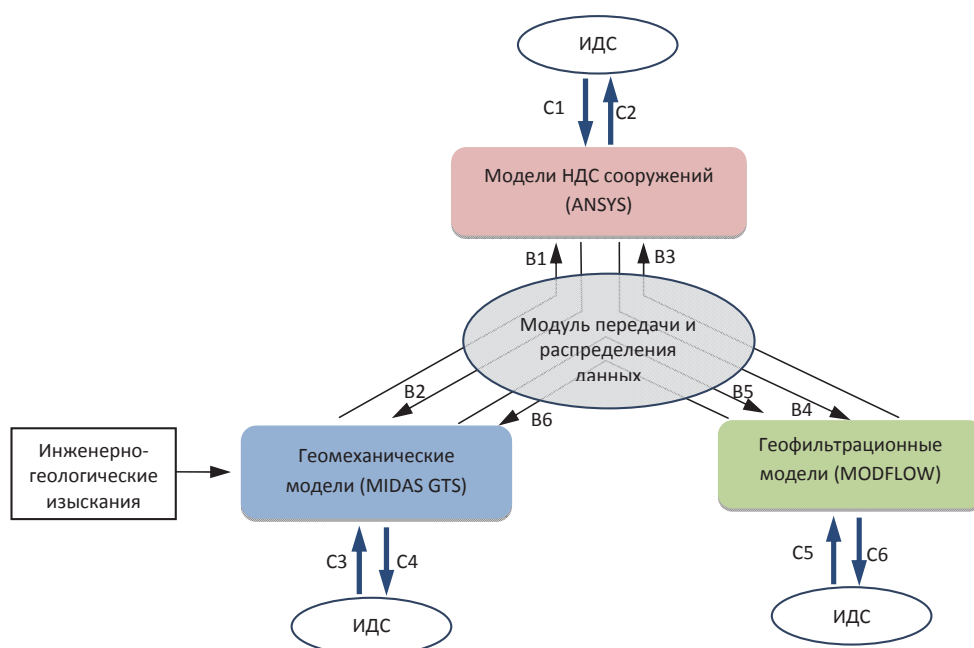


Рис. 3. Схема функционирования блока расчетных модулей

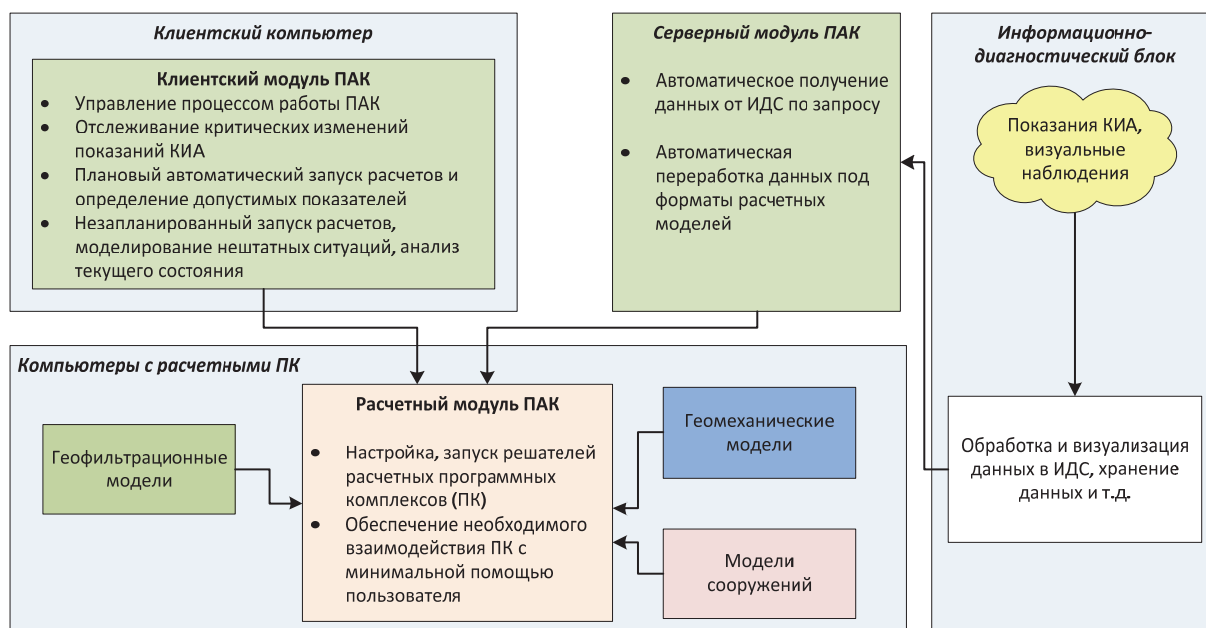


Рис. 4. Техническая архитектура ПАК

На рисунке 4 представлено предложение по технической реализации ПАК, составные части комплекса согласно этой схеме:

- Серверный модуль – обособленная часть ПАК, установленная вместе с ИДС на одном компьютере, получающая от нее данные.

- Клиентский модуль – модуль, устанавливаемый на компьютер, обслуживающий данную систему.

- Расчетный модуль – модуль, отвечающий за взаимодействие математических моделей, запуск расчетных программных комплексов, получение результатов от них и решение сопровождающие технических вопросов. Возможно совмещение расчетного модуля с клиентским или установка на вычислительный кластер.

- Клиентский компьютер – компьютер с установленным клиентским модулем, с которого возможен просмотр некоторых результатов расчетов, удаленный запуск расчета, настройка параметров расчета и т.д.

Выводы

Предлагаемый подход к созданию системы прогнозирования безопасности и надежности ГЭС ГЭС и ГАЭС реализуется в виде блоков расчетных модулей и позволяет определять сценарии возможных воздействий, влияющих на основания и сооружения.

Библиографический список

1. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Атабиев И.Ж., Мельникова Н.И. Расчетные исследования устойчивости и прочности под-

порных стен первого яруса водоприемника Загорской ГАЭС // Природообустройство. 2012. № 2. С. 44-48.

2. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Нефедов А.В., Черненко В.Н., Пономарев Д.И., Мукашпов Р.З., Лисичкин А.С. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния подпорной стенки первого яруса ЛВ-1 водоприемника Загорской ГАЭС, в том числе с учетом данных синхронных замеров при суточном изменении уровня верхнего аккумулирующего бассейна // Безопасность гидротехнических сооружений. 2013. Вып. 18. С. 38-50.

3. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Нефедов А.В., Серая О.З., Чуприна Я.Н. Схема рационального армирования фундаментной плиты водоприемника Загорской ГАЭС-2 // Гидротехническое строительство. 2008. № 4. С. 12-16.

4. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Ильин Ю.А., Нефедов А.В., Розанова Н.В., Черненко В.Н. Оценка напряженно-деформированного состояния и прочности железобетонных конструкций компенсационных секций напорных водоводов Загорской ГАЭС // Гидротехническое строительство. 2001. № 9. С. 16-19.

Материал поступил в редакцию 17.03.2016 г.

Сведения об авторе

Соболев Вячеслав Юрьевич, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по исследованиям и разработкам АО НИИЭС; 125362, Москва, Строительный проезд, 7а, тел.: 8-499-492-75-25, e-mail: sobolev.viy@niies.ru

V.YU. SOBOLEV

Joint stock company «Research institute of power structures», Moscow, Russian Federation

CREATION OF THE FORECASTING SYSTEM OF SAFETY AND RELIABILITY OF HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURES HPP AND PSP

With the purpose of forecasting safety and reliability of hydraulic engineering structures HPP (hydroelectric power plant) and PSP (pumped storage plant) a hardware-software complex (HSC) is under development which includes an information-diagnostic system (IDS) and computation module. By the example of the pilot object (Zagorsk PSP) creation of the system of safety and reliability forecasting of a complex of hydraulic structures with a soil foundation is presented. The base of the complex is a geological model of the foundation of two PSPs which determines the geological structure of the foundation. On the basis of this geological model a geofiltration model of the foundation is built which is verified using the data on external influences and information from piezometers obtained from the information-diagnostic system (IDS). As a result of creation of the hardware-software complex based on IDS there is created a united computation model of the soil foundation and concrete structures of two PSPs which can be used to calculate various scenarios of possible impacts influencing the state of both foundation and concrete structures. Moreover, using calculation results for the existing instrumentation there will be determined criteria of the condition values. The proposed design of the structure includes the following structural components – informational-diagnostic block (functional IDS with all necessary modifications), calculation block which unites modules of structures, geomechanical and geofiltration modules into a single subsystem; connection module of data interchange between modules; and a monitoring module of adaptation (more accurate data according to instrumentation) of mathematical models. Thereby the described approach to creation of the prediction system of the safety and reliability of HPP and PSP hydraulic structures is implemented in the way of several calculation modules and allows determining scenarios of possible impacts influencing the foundation and structures.

Reliability and safety, hydraulic engineering structures, soil foundation, system of forecasting, hardware-software complex, scenarios of possible impacts.

References

1. Lisichkin S.E., Rubin O.D., Atabiev I.Zh., Melnikova N.I. Raschetnye issledovaniya ustoychivosti i prochnosti podpornykh sten pervogo yarusy vodoproemnik Zagorskoj GAES // Prirodobustroystvo. 2012. № 2. S. 44-48.
2. Lisichkin S.E., Rubin O.D., Nefedov A.V., Chernenko V.N., Ponomarev D.I., Mukashov R.Z. Raschetnye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podpornoj stenki pervogo yarusy LV-1 vodoproemnika Zagorskoj GAES, v tom chisel s uchetom dannykh sinhronnykh zamerov pri sutochnom izmetenii urovnya verhnego akumuliruyushchego bassejna // Bezopasnostj hidrotehnicheskikh sooruzhenij. 2013. Vyp. 18. S. 38-50.
3. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Nefedov A.V., Рубин О.Д., Seraya O.Z., Chuprina Ya, N. Schema ratsionaljnogo armirovaniya fundamentnoj plity vodoproemnika Zagorskoj

GAES-2 // Hydrotehnicheskoe stroiteljstvo. 2008. № 4. C. 12-16.

4. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Iljin Yu.A., Nefedov A.V., Rozanova N.V., Cheernenko V.N. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i prochnosti zhelezobetonnykh constructsij kompensatsionnykh septsij napornykh vodovodov Zagorskoj GAES // Hydrotehnicheskoe stroiteljstvo. 2001. № 9. S. 16-19.

The material was received at the editorial office
17.03.2016

Information about the author

Sobolev Vyacheslav Yurjevich, candidate of technical sciences, deputy director on research and developments AO NIIES; 125362, Moscow, Stroiteljny proezd, 7a, tel.: 8-499-492-75-25, e-mail: sobolev.viy@niies.ru