



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической
системы»**



Основана в 1724 году

*Российская академия наук
Научный совет по проблемам
надёжности и безопасности
больших систем энергетики*

УТВЕРЖДАЮ

Председатель Научного Совета РАН
по проблемам надёжности и
безопасности больших систем энергетики,
Председатель Научно-технической
коллегии НП «НТС ЕЭС»,
член-корреспондент РАН,
д.т.н., профессор

А.Ф. Дьяков

«12» августа 2014 г.

ПРОТОКОЛ

совместного заседания Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС и
Научного совета РАН по проблемам надёжности
и безопасности больших систем энергетики»
на тему:

«Восстановление сооружений станционного узла Загорской ГАЭС-2»

30 июля 2014 года

№ 5/14

г. Москва

Присутствовало: 72 чел.

Со вступительным словом выступил

Председатель научного Совета РАН по проблемам надёжности и безопасности больших систем энергетики, Председатель Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС», член-корр. РАН, д.т.н., профессор **А.Ф. Дьяков**.

В своём выступлении **А.Ф. Дьяков** отметил, что проект восстановления Загорской ГАЭС-2 рассматривается на заседании наших Советов по поручению Минэнерго России (протокол совещания о ходе выполнения поручений по расследованию причин аварии и проведению восстановительных работ на Загорской ГАЭС-2 у заместителя Министра

энергетики Российской Федерации **А.В. Черезова** от 19.05.2014 г. № ЧА-203 пр).

А.Ф. Дьяков предложил не рассматривать причины произошедших событий: они будут описаны в нашем протоколе перед основным докладом по материалам, представленным ОАО «РусГидро». Докладчик должен подробно рассказать о предлагаемом варианте восстановления сооружений станционного узла Загорской ГАЭС-2, убедить членов Советов в его реальности, а также представить программу проведения работ, стоимость работ, их технологию и сроки выполнения.

Описание произошедшего на Загорской ГАЭС-2 события

Около 23 часов 17 сентября 2013 г. в течение короткого промежутка времени вследствие образования эрозионного канала под фундаментной плитой здания ГАЭС в районе гидроагрегата № 10 произошло затопление верховой части котлована Загорской ГАЭС-2 до отметки 162,0 м, соответствующей уровню воды в нижнем бассейне ГАЭС в это время.

Утром 18 сентября была обнаружена деформация здания ГАЭС: правая часть здания станции просела в примыкании к подпорной стенке ПС-3 на 0,74 м; левая часть поднялась по отношению к верховой части монтажной площадки на 0,55 м. Других видимых разрушений и деформаций сооружений ГАЭС-2, в том числе откосов котлована и реверсивного канала, обнаружено не было.

В течение нескольких часов 18 сентября была произведена откачка воды из нижнего бассейна в верхний бассейн ГАЭС-1 до отметки 155,50 м, которая поддерживалась до 29 сентября с последующим понижением.

После выравнивания уровней воды в двух бьефах и стабилизации уровня воды в реверсивном канале деформации в октябре стабилизировались. В дальнейшем по мере откачки воды из котлована осадки увеличивались незначительно. На 28.07.2014 г. осадка правой части здания ГАЭС-2 составила 1,20 м, подъём левой части + 0,10 м.

После развития непроектных осадок сооружений станционного узла на отметке 166,35 м (верхняя отметка здания ГАЭС) появилась сеть трещин, связанная со следующими причинами:

- взаимным опиранием здания ГАЭС и подпорной стенки ПС-3 (в районе контакта здания ГАЭС и ПС-3);
- изменением условий опирания фундаментной плиты на основание (в районе 6 – 7 осей здания ГАЭС).

Последующие наблюдения за состоянием сооружений ГАЭС-2 не выявили каких-либо изменений в создавшемся положении и целостности машинного зала.

С целью установления причин и масштаба последствий произошедшего инцидента в течение сентября и в первой декаде октября были проведены батиметрические, гидроакустические, водолазные и сейсмоакустические исследования участка примыкания здания ГАЭС-2 к ПС-3 и ПС-3 к ПС-4 в зоне максимальных осадок сооружений. На основании предоставленных данных по промерам глубин и подводно-технического обследования

установлено наличие деформаций и повреждений понура, подпорной стенки ПС-7, склона канала и обратной засыпки под ПС-3.

Исследования выявили разрушения плит понура реверсивного канала в примыкании к зданию ГАЭС-2 на участке около 40 м, значительные размывы основания понура, а также наличие пустот в основании здания ГАЭС-2 и стенки ПС-3 в зоне примыкания к торцу здания ГАЭС-2 глубиной до 7 – 10 м. Промеры, выполненные в районе ПС-3 с нижнего бьефа, показали наличие размыва глубиной около 11,0 м под фундаментной плитой ПС-3 на участке её примыкания к торцу здания станции.

Две пробуренные через ПС-3 и в районе правой стены машинного зала скважины подтвердили наличие под зданием станции в зоне его правого торца сплошной пустоты размытого основания примерно до отметки 118,0 – 119,0 м.

Вынесенный грунт распределился по рельефу в зоне затопления, максимальная мощность отложений до 3 – 4 м сформировалась вдоль правобережных верховых подпорных стенок.

По результатам батиметрической съёмки определены объёмы вымытого и нанесенного грунта. Грунт был вымыт из нижнего бьефа и из основания здания ГАЭС и намыт в верхний бьеф.

Объём вымытого грунта из нижнего бьефа составил около 19 тыс. м³; объём наносов составил 24,5 тыс. м³. Объём вымытого грунта из-под здания ГАЭС составил около 5,5 тыс. м³.

Восстановление здания ГАЭС

Этап восстановления включает в себя комплекс мероприятий по восстановлению энергетических эксплуатационных характеристик гидроузла.

Этап восстановления рассматривается в трёх вариантах.

1. Вариант выравнивания здания ГАЭС.
2. Вариант полной разборки существующего здания ГАЭС и строительство нового здания на его месте.
3. Вариант строительства нового здания ГАЭС ниже по течению в реверсивном канале. Старое здание не разбирается, используется как вспомогательное и транзитное.

Все три варианта восстановления Загорской ГАЭС-2 предусматривают переустройство противофильтрационных элементов станционного узла с повышением его надёжности.

Вариант 1. Выравнивание здания ГАЭС

Выравнивание здания ГАЭС представляет собой комплекс мероприятий, в результате которых здание станции будет выровнено до состояния, при котором возможно восстановление технологического оборудования.

Преимущества варианта: возможность получения горизонтального положения сооружений с необходимой точностью; сроки работ короче, чем в вариантах 2 и 3; стоимость работ меньше, чем в вариантах 2 и 3.

Недостатки варианта: риски при выполнении уникальных видов работ; необходимость восстановления проектных характеристик основания сооружения под существующей фундаментной плитой.

- Варианты технических решений выравнивания здания ГАЭС.
- Вариант подъёма здания взвешивающей силой воды.
- Вариант подъёма здания с помощью домкратов.
- Вариант опускания левой части здания выбуриванием грунта.
- Вариант подъёма здания нагнетанием в грунт специальных составов для увеличения объёма грунта.
- Сочетание различных способов выравнивания.

Вариант подъёма здания взвешивающей силой воды. Суть метода: подъём здания за счёт его всплытия при подъёме уровня воды вокруг здания.

Преимущества метода: возможность получения горизонтального положения сооружений с высокой точностью. Недостаток метода: существенные технические трудности при заполнении полости под фундаментной плитой здания ГАЭС при отрыве сооружения от грунта при всплытии.

Вариант подъёма здания с помощью домкратов. Суть метода: подъём здания за счёт усилий домкратов, работы производятся под водой.

Преимущества метода: возможность получения горизонтального положения сооружений с высокой точностью. Недостатки метода: существенные технические трудности при устройстве туннелей под фундаментной плитой здания ГАЭС для установки домкратов; при заполнении полости под фундаментной плитой здания ГАЭС при отрыве сооружения от грунта; необходимость частичного заполнения водой котлована здания ГАЭС для уменьшения нагрузки на домкраты.

Вариант опускания левой части здания выбуриванием грунта или его гидроудалением.

Преимущества метода: простота метода, принципиальная техническая осуществимость. Недостатки метода: невозможность гарантии пространственного положения станции при удалении грунта из-под фундаментной плиты; невозможность контроля разуплотнения грунта при производстве работ; невозможность влияния на напряженно-деформируемое состояние сооружения в процессе работ; необходимость закрепления грунта под фундаментной плитой по окончании работ.

Вариант подъёма здания нагнетанием в грунт специальных составов для увеличения объёма грунта. Суть метода: подъём здания за счёт увеличения объёма грунта под зданием. Увеличение объёма выполняется с помощью нагнетания (инъекцией) в грунт специальных составов с помощью технологии компенсационного нагнетания (КН).

Преимущества метода: принципиальная техническая осуществимость; возможность влияния на напряженно-деформируемое состояние сооружения в процессе работ; отсутствие разуплотнений грунта; увеличение характеристик грунта основания по мере выполнения работ; возможность

полного управления процессом подъема сооружения. Недостаток метода: отсутствие мирового опыта единовременного подъема сооружений такого масштаба на величину более 1 м.

Вариант 2. Полная разборка существующего здания ГАЭС и строительство нового здания на его месте

Вариант полной разборки существующего здания ГАЭС и строительства нового здания на его месте представляет собой комплекс мероприятий, в результате которых здание станции и часть примыкающих сооружений напорного фронта будет демонтировано с последующим восстановлением основания и строительством новых сооружений взамен демонтированных на прежнем месте.

Преимущества варианта: возможность получения горизонтального положения сооружений с необходимой точностью; нет необходимости восстановления основания сооружения под существующей фундаментной плитой. Недостатки варианта: необходимость разборки значительного количества сопряженных сооружений; сроки работ значительно длиннее, чем в варианте 1; стоимость работ значительно выше, чем в варианте 1.

Вариант 3. Строительство нового здания ГАЭС в реверсивном канале

Старое здание не разбирается, используется как вспомогательное и транзитное.

Вариант строительства нового здания ГАЭС ниже по течению в реверсивном канале с частичной разборкой существующего здания ГАЭС и подготовки его для использования в качестве вспомогательного здания представляет собой комплекс мероприятий, в результате которых часть примыкающих сооружений напорного фронта будет демонтирована, существующее здание ГАЭС будет переоборудовано с параллельным строительством новых сооружений на новом месте. Существующее здание ГАЭС переоборудуется для обеспечения пропуска воды по водоводам транзитом с подачей воды на агрегаты нового здания ГАЭС.

Преимущества варианта: возможность получения горизонтального положения сооружений с необходимой точностью; нет необходимости восстановления основания сооружения под существующей фундаментной плитой. Недостатки варианта: необходимость строительства нового напорного фронта; необходимость разборки и переустройства существующего здания ГАЭС и реверсивного канала;

Модернизация здания ГАЭС

Вариант модернизации здания ГАЭС основан на восстановлении строительных конструкций здания ГАЭС путем штрабления и повторного бетонирования необходимых зон с выравниванием элементов оборудования в положение, соответствующее требованиям заводов-изготовителей оборудования. Вариант модернизации здания ГАЭС рассматривается как вспомогательный.

Требования завода-изготовителя основного технологического оборудования станции заключаются в необходимости выравнивания вертикальной оси агрегатов в пределах не более 0,1 %. При неполном

выравнивании здания ГАЭС предусматривается выполнение мероприятий по штраблению отдельных зон здания ГАЭС с последующим их восстановлением в новом исправленном положении.

К этим зонам относятся:

- сопряжения с водоводами;
- шахты гидроагрегатов и спиральные камеры;
- пазовые конструкции затворов.

Преимущества варианта: возможность получения горизонтального положения элементов основного и вспомогательного оборудования с необходимой точностью. Недостатки варианта: необходимость вырубки значительного объёма бетона и железобетона с последующим его восстановлением в прежних объёмах; необходимость восстановления проектных характеристик основания сооружения под существующей фундаментной плитой; ступенчатое положение плиты перекрытия машинного зала; различные гидравлические условия для каждого из гидроагрегатов; необходимость усиления колонн машинного зала, находящихся в наклонном положении; необходимость замены подкрановых балок под краны высокой грузоподъёмности; необходимость разборки и переустройства части верхнего строения существующего здания ГАЭС, необходимость наращивания (возможно, усиления) напорной щитовой стенки в зоне агрегатов 10 и 9.

Показатели вариантов восстановления

Ниже приведены показатели вариантов восстановления, характеризующие сроки пуска 1-го агрегата и относительную стоимость выполнения работ.

Варианты	Месяц, год пуска 1-го агрегата	Относительная стоимость варианта
Выравнивание здания ГАЭС методом компенсационного нагнетания	09.2016 г.	1,00
Демонтаж здания ГАЭС и строительство нового здания станции в существующем створе	06.2018 г.	1,92
Строительство нового здания станции со сдвижкой в сторону нижнего бассейна с укреплением основания существующего здания	06.2017 г.	2,08

Для дальнейшего рассмотрения рекомендуется вариант подъёма здания нагнетанием в грунт специальных составов для увеличения объёма грунта (метод компенсационного нагнетания) при возможности использования других методов как вспомогательных.

С докладом на тему «Восстановление сооружений станционного узла Загорской ГАЭС-2 методом компенсационного нагнетания»

выступил **А.В. Александров** — заместитель главного инженера ОАО «Институт Гидропроект», ГИП проекта восстановления Загорской ГАЭС-2.

Ниже приведены основные положения доклада.

Проект восстановления Загорской ГАЭС-2 основывается на решениях, предложениях и замечаниях, принятых на заседаниях научно-технического совета (НТС) ОАО «Институт Гидропроект» от 26.12.2013 г. и 22.01.2014 г., совместного заседания Бюро НТС ОАО «РусГидро» и секции «Гидроэлектростанции и гидротехнические сооружения» НП «НТС ЕЭС» (протокол № 1/2014 от 11.03.2014 г.), требованиях Технического задания. Основные проектные решения восстановления здания ГАЭС приняты в проекте ОАО «Институт Гидропроект» № 1938-40-027, выпущенном 15.05.2014 г.

Процесс восстановления Загорской ГАЭС-2 основывается на следующих материалах.

1. «Программа восстановления и ввода в эксплуатацию Загорской ГАЭС-2» № 1938-40-001, выпущенная ОАО «Институт Гидропроект» в октябре 2013 г. и утвержденная Заказчиком № 2387-ВМ от 12.11.2013 г.

2. «Анализ вариантов восстановления здания ГАЭС-2» № 1938-40-014, выпущенный ОАО «Институт Гидропроект» от 15.03.2014 г.

3. «Корректировка ТЭО (проект) строительства Загорской ГАЭС-2 на р. Кунье», в составе которого был выделен пусковой комплекс Загорской ГАЭС-2 (выпущен 15.07.2013 г.).

4. «Актуализированный график строительства и пуска агрегатов №№ 7-10 Загорской ГАЭС-2» № 1938-27-9А, утверждённый председателем правления ОАО «РусГидро».

5. «Восстановление Загорской ГАЭС-2 на р. Кунье. Восстановительные работы». Проект. № 1938-40-027. Том 1 – 5.

Докладчик привёл краткие сведения о произошедшем инциденте 17.09.2013 г. и современном состоянии гидроузла.

В продолжение доклада были даны основные параметры восстановления Загорской ГАЭС-2 методом компенсационного нагнетания (КН).

В соответствии с Программой восстановления Загорской ГАЭС-2 выделяются два этапа: этап стабилизации и этап восстановления. В настоящее время этап стабилизации выполнен, начаты подготовительные работы по реализации этапа восстановления.

Этап восстановления включает в себя комплекс мероприятий по восстановлению энергетических эксплуатационных характеристик гидроузла.

Проект восстановления здания ГАЭС № 1938-40-027 предусматривает выравнивание здания станционного узла ГАЭС методом компенсационного нагнетания за счёт инъекции в грунт специальных составов для увеличения объёма грунта.

Суть метода: увеличение объёма грунта под зданием с одновременным созданием за счёт этого нагнетания дополнительного давления,

обеспечивающего подъём. Увеличение объёма выполняется с помощью нагнетания (инъекцией) в грунт специальных составов в несколько стадий.

Метод подъёма по технологии компенсационного нагнетания в грунтах основания здания Загорской ГАЭС-2 предусматривает выполнение работ в два этапа:

1-й этап — предварительная подготовка массива, посредством заполнения пор и пустот высокопроницающим раствором под низким давлением;

2-й этап — последующее компенсационное нагнетание инъекционного материала (раствора) по горизонтам с регулируемой вязкостью при проектном давлении и расходе.

Выравнивание методом КН требует значительного количества дискретных нагнетаний соответствующих растворов небольшими порциями (до 60 л) под здание ГАЭС (около 285 000 раз), что возможно выполнить с помощью соответствующего автоматического управления и применения программного обеспечения.

Основным требованием при применении КН является возможность доставки инъекционных составов точно в необходимую область. Это требование осуществляется за счёт манжетной технологии нагнетания, при которой возможно с высокой точностью осуществить подачу материалов в необходимую зону.

Предварительное нагнетание (этап 1) композитного раствора КН-1 для заполнения пор и пустот производится для подготовки массива под компенсационное нагнетание с целью увеличения эффективности применяемой технологии (т. е. снижения объёмов на подъём), а также достижения контролируемого подъёма за счёт точного положения и формообразования инъектируемого раствора.

Инъекционное закрепление песчаных грунтов растворами при предварительном нагнетании представляет собой искусственное, целенаправленное преобразование строительных свойств грунтов обработкой их в естественном залегании различными реагентами и осуществляется путём их пропитки специальными составами (например, водной суспензией на основе особо тонкого молотого микроцемента).

При компенсационном нагнетании (этап 2) композитного раствора КН-2 нагнетание ведётся под давлением до 30 бар с расходом до 1 л/мин. В качестве инъекционного насоса рекомендуется использовать двухплунжерный насос с постоянной подачей. Регулировка интенсивности подачи насоса должна осуществляться от 0 до 1 – 15 л/мин.

Инъектирование ведётся с помощью двойных пакеров в отдельные манжеты с объёмом раствора на манжету за раз не более 40 л и суммарно не более 500 л.

Система мониторинга состоит из двух элементов:

- мониторинг пространственного положения сооружения (геотехнический мониторинг);

- мониторинг напряженно-деформируемого состояния (НДС) конструктивных элементов сооружения.

На основании результатов системы мониторинга в процессе выравнивания сооружения принимаются оперативные решения по порядку выполнения работ по подъёму. Система мониторинга связана с программным комплексом насосных станций выравнивания с помощью специального программного обеспечения. Геотехнический и деформационный мониторинг проводится с помощью КИА.

Целью мониторинга является обеспечение безопасного подъёма здания ГАЭС путём контроля изменения его планово-высотного положения и напряженно-деформированного состояния (НДС). При необходимости, производится корректировка проектной документации, принятие оперативных решений и предотвращение возможных аварийных ситуаций.

Мониторинг пространственного положения сооружения (геотехнический мониторинг)

1. Датчики гидростатического нивелирования, которые устанавливаются внутри здания ГАЭС в несколько контуров по стенкам отсасывающих труб гидроагрегатов 10,9,8. Датчики должны работать в диапазоне значений до 2 м, с погрешностью от общего значения до 0,1 %; периодичность снятия данных от 5 до 60 мин.

2. Высокоточные электронные тахеометры, которые устанавливаются со стороны верхнего и нижнего бьефа, на месте позволяющем снимать значения высотно-планового положения с марок, установленных на внешней стороне конструкций здания ГАЭС на отметках от +144,2 до 166,4. Шаг в поперечном направлении марок должен составлять около 5,5 м, наблюдения за плановым положением деформационных марок необходимо производить тахеометром методом «полярной засечки» с точностью угловых измерений не ниже $\pm 1''$, линейных измерений не ниже 1 мм \pm 1 мм/км; периодичность снятия данных от 5 до 60 мин.

3. Спутниковые датчики системы геодезического контроля GPS, которые устанавливаются по контуру в плане здания на отметке +166,4. Датчики несут функцию дополнительных, в связи с этим частота их установки по контуру в плане может быть ограничена шагом в 30...50 м.

Мониторинг напряженно-деформируемого состояния сооружения

1. Щелемеры и измерители стыков, которые устанавливаются в местах выявленных дефектов или стыков как в поперечном, так и продольном направлении. Датчики должны работать в диапазоне до 100 мм, с погрешностью от общего значения до 0,1 %; периодичность автоматизированного снятия данных — от 5 до 60 мин.

2. Измерители напряжений в арматурных стержнях, которые устанавливаются в местах наибольших расчётных напряжений в конструктивных элементах сооружения. Датчики должны работать в диапазоне до 600 МПа, с погрешностью от общего значения до 0,1 %; периодичность автоматизированного снятия данных от 5 до 60 мин.

Окончанием мониторинга считать момент завершения строительства здания ГАЭС или времени (если оно позднее) когда закончилась релаксация напряжений в основании. Последующий мониторинг проводить в плановом режиме, предписанном для эксплуатируемого сооружения. Периодичность циклов обследований и инструментальных наблюдений в период строительства может корректироваться в случае изменения интенсивности деформаций.

В завершении доклада докладчиком указаны требования к используемому оборудованию для выполнения работ по компенсационному нагнетанию и порядок осуществления контроля качества этих работ.

Далее докладчиком приведены сведения о применении метода КН в мировой и отечественной практике. В их число входят следующие объекты: здание железнодорожного вокзала в г. Антверпене (Нидерланды), здание в г. Тайбэй, станции метрополитена в г. Лондоне, здание Алексеевского училища в г. Москве.

С экспертным заключением по проекту восстановления Загорской ГАЭС-2, подготовленным группой независимых экспертов и утверждённым президентом Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению д.т.н. профессором **В.А. Ильичевым**, выступил д.т.н. профессор **В.Л. Кубецкий** — руководитель Центра мониторинга строительства зданий, сооружений, оснований и фундаментов ГУП «НИИМосстрой».

Экспертиза проведена экспертами Городской экспертно-консультативной комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям (ГЭКК ОФ и ПС), руководителем Центра мониторинга строительства зданий и сооружений, оснований и фундаментов ГУП «НИИМосстрой» д.т.н., профессором **В.Л. Кубецким**, доцентом кафедры Механики грунтов и геотехники ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» к.т.н. **Ю.И.Хариным** и ведущим научным сотрудником лаборатории Оснований, фундаментов и подземных сооружений ФГБУ «НИИСтройфизики РААСН» д.т.н. **Н.С. Никифоровой**. Ниже изложены основные положения указанного экспертного заключения.

Программа, разработанная ОАО «Институт Гидропроект», по сути предусматривает выполнение мероприятий по восстановлению и вводу в эксплуатацию Загорской ГАЭС-2, но разбитых на два этапа:

1 этап — этап стабилизации основания здания ГАЭС;

2 этап — этап восстановления здания ГАЭС.

Этап стабилизации здания ГАЭС в настоящее время выполнен. Котлован здания ГАЭС и реверсивный канал осушены, осадки здания ГАЭС прекратились.

Этап восстановления еще не начат. В настоящее время производятся исследования грунтов в основании здания ГАЭС под её фундаментной плитой. Исследования производятся геофизическими методами и с помощью

бурения исследовательских скважин. Выполняется комплекс подготовительных работ.

Согласно материалам № 1938-40-027, исходя из технических возможностей, сроков восстановления и стоимости, ОАО «Институт Гидропроект» отдал предпочтение варианту выравнивания станции с помощью компенсационного нагнетания под фундамент здания ГАЭС через горизонтальные скважины раствора на основе тонкодисперсного вяжущего, что, в целом, возражений у экспертов не вызывает. Обладая высокой проникающей способностью, он легко, без создания сверхдавлений, образует относительно однородный массив прогнозируемой формы и объёма, что позволяет правильно рассчитать количество и рационально разместить под сооружением инъекторы. Зарубежная практика показала возможность успешного применения этого метода для подъёма и выправления зданий и сооружений. Кроме того, этот метод может быть относительно легко опробован на опытной площадке. Для этого практически на поверхности грунта необходимо отлить железобетонную плиту толщиной около 80 см и заанкерить её по периметру и в ряде других точек. Анкеры, снабжённые электронными датчиками, позволяют непрерывно в реальном времени записывать на компьютер положение в пространстве и усилие в точке фиксации анкера. Под зафиксированной железобетонной плитой выполняются работы по технологии компенсационного нагнетания. Необходимо отметить, что при компенсационном нагнетании грунт не разрушается, и создаваемое незначительное давление направлено сразу против силы тяжести сооружения. Зная распределение усилий в точках фиксации плиты, легко определить момент начала превышения необходимого давления, а, значит, начало равномерного подъёма сооружения.

Выводы и рекомендации

Анализ представленных материалов позволил экспертам сделать следующие выводы о вариантах восстановления Загорской ГАЭС-2.

1. Эксперты в целом одобряют Программу по восстановлению Загорской ГАЭС-2, разработанную ОАО «Институт Гидропроект» и учитывающую опыт возведения и эксплуатации гидротехнических сооружений как в нашей стране, так и за рубежом, и считают, что её реализация позволит избежать потерю здания ГАЭС и выполнить восстановление гидроузла в намеченные сроки.

2. Эксперты подтверждают мнение группы экспертов, изложенное в Заключении о вариантах восстановления стационарного узла Загорской ГАЭС-2, что выравнивание существующего здания до состояния, при котором возможна работа его оборудования, предпочтительно осуществлять с помощью метода компенсационного нагнетания в пески основания из горизонтальных скважин растворов на основе тонкодисперсного вяжущего, обеспечивающего равномерное распределение вертикальных усилий в зоне инъектирования. Возможность применения и эффективность этого метода

подтверждается зарубежной практикой подъёма и ликвидации кренов различных зданий и сооружений.

3. Эксперты подтверждают необходимость и правильность принятых мер по стабилизации деформаций основания станции, но, вместе с тем, считают необходимым рекомендовать провести инъекционное закрепление песков в её основании на глубину около 10,0 м, используя для этого растворы на основе тонкодисперсного вяжущего, обладающие большой проникающей способностью, что позволяет существенно сократить число точек инъекции. Последнее важно, поскольку инъектирование необходимо проводить через фундаментную плиту здания.

4. Для повышения эффективности работ по выравниванию здания эксперты считают целесообразным рассмотреть возможность совмещения подъёма правой части здания и опускание его левой части.

5. Необходимо организовать систему мониторинга для управления в реальном режиме времени заполнения пустот в грунте и выправления крена здания.

6 Эксперты считают необходимым проведение апробации основных вариантов восстановления станции на опытных участках и моделях, включая физические и математические модели.

Полностью заключение экспертной комиссии Городской экспертно-консультативной комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям при правительстве г. Москвы представлено в приложении 1 к настоящему протоколу.

С экспертным заключением по проекту «Восстановление Загорской ГАЭС-2», разработанному ОАО «Институт Гидропроект», выступил д.т.н. **Зерцалов М.Г.** — профессор кафедры Механики грунтов и геотехники ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет». Ниже изложены основные положения указанного экспертного заключения.

Объём представленных материалов по проекту «Восстановление Загорской ГАЭС-2», разработанного ОАО «Институт Гидропроект», и их анализ позволяют сделать следующие выводы.

1. Принимая во внимание многолетнее успешное применение метода компенсационного нагнетания в зарубежной практике, вариант подъёма здания Загорской ГАЭС-2 с использованием указанного метода, предложенный ОАО «Институт Гидропроект», следует считать в сложившихся инженерно-геологических условиях наиболее оптимальным и вполне обоснованным.

2. Проект выполнен с достаточной степенью проработки отдельных его разделов, позволяющей принимать решения по дальнейшей реализации плана восстановления здания ГАЭС. Требования проекта в части состава оборудования, необходимых материалов и решений по их доставке в зону компенсационного нагнетания обоснованы и соответствуют разработанному календарному графику работ.

3. Для постоянного контроля состояния здания ГАЭС целесообразно разработать комплекс инженерно-геологических

исследований и рекомендовать его проведение как в процессе восстановительных работ, так и по их завершению. Кроме того, желательно проведение дополнительных исследований свойств используемых компенсационных растворов в натуральных условиях.

4. Предлагаемая в проекте система мониторинга позволяет проводить все необходимые наблюдения за состоянием здания ГАЭС и соответствует самым современным требованиям определения осадок и кренов сооружения. Используемые при этом измерительное оборудование и программное обеспечения позволят проводить все наблюдения в режиме реального времени.

5. Достоверность прогноза поведения сооружения в процессе восстановительных работ обеспечивается применением численного моделирования на базе МКЭ, что позволяет прогнозировать режим и порядок зон нагнетания, состав используемых компенсационных растворов, а также осадки и крен сооружения на каждом последующем этапе подъёма и выравнивания Загорской ГАЭС-2.

Полностью заключение д.т.н. **М.Г. Зерцалова** по проекту «Восстановление Загорской ГАЭС-2», разработанному ОАО «Институт Гидропроект», представлено в приложении 2 к данному протоколу.

Экспертное заключение по проекту восстановления Загорской ГАЭС-2, подготовленное сотрудниками кафедры Технологии вяжущих веществ и бетона ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (МГСУ) и подписанное д.т.н. профессором **Ю.М. Баженовым**, д.т.н. профессором **Ворониным В.В.** и д.т.н. профессором **Л.А. Алимовым**, зачитал **В.В. Молодюк** — первый заместитель председателя Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС». Ниже изложены основные положения указанного экспертного заключения.

Кафедра Технологии вяжущих веществ и бетонов МГСУ занимается фундаментальными и прикладными исследованиями в области строительного материаловедения и, в частности, минеральных вяжущих веществ, растворов и бетонов на их основе. В этой связи в объёме подготовленного Заключения выполнен анализ целесообразности и эффективности материалов, применяемых для выполнения работ по компенсационному нагнетанию. Вопросы гидро- и геотехнического профиля не анализировались в связи с отсутствием соответствующей компетенции.

Целью применения метода компенсационного нагнетания является восстановление высотного положения здания Загорской ГАЭС-2 до первоначального проектного состояния.

Основой проекта является концепция, предусматривающая формирование в основании здания водонепроницаемого массива грунта с изотропными свойствами, с последующим нагнетанием в его структуру проектного количества вязкого, медленно твердеющего инъекционного раствора. Таким образом, в основании здания формируется гидродомкрат, в качестве рабочего тела которого используется как сам нагнетаемый раствор в жидком состоянии, так и грунт основания,

циклически уплотняемый и напрягаемый путём последовательных инъекций в него небольших порций специального инъекционного раствора.

В этой связи применяемые инъекционные материалы должны удовлетворять следующим требованиям: регулируемая вязкость, способность к тиксотропному разжижению, отсутствие седиментации, регулируемая интенсивность затвердевания в период до 6 – 8 месяцев, долговечность.

Нагнетание инъекционного раствора ниже подошвы здания на первом этапе формирования изотропного массива осуществляется в режиме пропитки, при низком давлении и повышенном расходе материала. На этапе подъёма нагнетание инъекционного материала выполняется в режиме управляемого микро- гидроразрыва при высоком давлении и низком расходе инъекционного материала. Равномерность распределения избыточного объёма и давления в основании здания обеспечивается созданием сети точек инъектирования путём бурения слабонаклонных к горизонту скважин в грунтах основания ниже подошвы на 1 – 2 м. В скважины, пробуренные методом направленного бурения, устанавливаются манжетные трубы диаметром 70 мм.

Инъекция раствора производится как последовательно через каждый из инжекторов, так и через группу манжетных колонн объединённых гребёнкой. В случае применения гребёнки, каждый инжектор обустраивается регулятором расхода и давления.

Инжектор представляет собой манжетную колонну с рабочей частью 3 – 15 м с шагом манжет 0, 33 м. Инъекция через каждую манжету производится с использованием двойного тампона (двойного разжимного пакера).

На этапе собственно компенсационного нагнетания и подъёма здания до проектной отметки с обеспечением заданного горизонта нагнетание выполняется через манжетные трубы по горизонтам при строго контролируемом проектном давлении (до 20 атм.), контролируемом расходе инъекционного материала (0,5...20 л/горизонт) и контролируемой интенсивности нагнетания (0,5....5 л/мин.).

В качестве инъекционного раствора для обеспечения подъёма здания применяется специальное минеральное вяжущее на основе активированного бентонита. Отличительной особенностью этого вяжущего является регулируемая вязкость, способность к тиксотропному разжижению и медленному затвердеванию в условиях обводнённых грунтов. Начало затвердевания — не ранее 28 суток, конец затвердевания — не позже 180 суток при проектной прочности 2 МПа.

Работы предполагается выполнять с использованием автоматизированного программного комплекса, включающего системы:

- слежения за изменениями пространственного положения элементов здания;
- контроля напряжений в железобетонных конструкциях;
- контроля параметров нагнетания через каждый инжектор;

- автоматического управления параметрами нагнетания в зависимости от данных, полученных от систем измерения;
- оповещения о приближении показателей к критическим значениям.

Каждый иньектор может обслуживаться одним растворомасосом с регулятором расхода и давления. Если же один растворомасос обслуживает группу иньекторов, то между общим коллектором и иньектором должен быть установлен редуктор давления. Таким образом, компенсационное нагнетание выполняется в два этапа: предварительное заполнение пор и пустот для подготовки массива к компенсационному нагнетанию и непосредственно компенсационное нагнетание (высокое давление, низкий расход раствора)

Заполнение пор и пустот (1 этап) для подготовки массива к компенсационному нагнетанию характеризуется следующими условиями:

- использование высокопроницаемого раствора с вязкостью, соизмеримой с вязкостью воды;
- проектное давление нагнетания до 0,5 МПа с регулируемой интенсивностью до 10 л/мин.;
- повышенный расход вяжущего до 350 л/м³ для заполнения открытых пор в грунте.

В результате заполнения пор и пустот на этапе подготовки массива к компенсационному нагнетанию обеспечивается:

- снижение коэффициента пористости, что приводит к увеличению модуля деформации массива (снижение потерь при подъёме на деформации уплотнения массива);
- исключение неконтролируемого выхода иньекционного раствора из рабочей зоны в процессе компенсационного нагнетания.

Использование двухсторонних пакеров позволяет обеспечить гарантированную подачу иньекционного материала в проектный горизонт через манжету.

Собственно компенсационное нагнетание (2 этап) характеризуется следующими условиями:

- расчётное проектное давление нагнетания — до 20 МПа;
- проектный расход иньекционного материала в количестве 1 – 50 л/манжета с повторным иньектированием через отдельную манжету до 10 раз и обеспечение равномерности его распределения в заданном горизонте.

Изложенным в проекте условиям в полной мере соответствуют иньекционные системы на минеральной основе. На стадии предварительного нагнетания целесообразно применить иньекционные системы на основе микроцементов типа «Микродур», модифицированных минеральными микронаполнителями и полифункциональными химическими добавками. Это обеспечит их высокую проникающую способность в поровую структуру грунта, интенсивное загустевание после завершения процесса пропитки, возможность последующего многократного заполнения объёма на стадии подъёма без потерь избыточного давления и объёма иньекционного

материала. Минеральная основа инъекционных материалов обеспечит сохранность их свойств в расчётный период эксплуатации сооружения здания.

На этапе собственно подъёма здания повторное нагнетание расчётного количества инъекционного материала необходимо выполнять с применением инъекционного материала на основе модифицированного бентонита, с регулируемой вязкостью и интенсивностью затвердевания, обеспечивающей достижение расчётной прочности при сжатии не более 2 МПа в период не ранее 6 месяцев.

На основании вышеизложенного считаем, что применение предусмотренных проектом минеральных композиционных вяжущих как на стадии предварительного нагнетания, так и на стадии подъёма, является обоснованным и целесообразным, что при соответствующем научно-техническом сопровождении обеспечит достижение поставленной цели.

Полностью экспертное заключение по проекту восстановления Загорской ГАЭС-2, подготовленное сотрудниками кафедры Технологии вяжущих веществ и бетона ФГБОУ ВПО «МГСУ», представлено в приложении 3 к настоящему протоколу.

В ходе дискуссии выступили:

Академик РАН **А.А. Саркисов**, д.т.н. **В.В. Кудрявый** — научный руководитель Центра «Оптимизация управления в энергетике» НИУ «МЭИ», д.т.н. профессор **Б.К. Максимов** — зам. зав. кафедрой РЗиАЭ НИУ «МЭИ», д.т.н., профессор, **Л.Н. Рассказов** — профессор МГСУ, д.т.н. профессор **В.А. Ильичев** — председатель Городской экспертно-консультативной комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям при правительстве Москвы, к.т.н. **С.Я. Лащёнов** — советник председателя правления ОАО «РусГидро», д.т.н. **Б.И. Нигматулин** — первый заместитель генерального директора Института проблем естественных монополий, **И.А. Байков** — советник Департамента оперативного контроля и управления в электроэнергетике Минэнерго России.

Совместное заседание ОТМЕЧАЕТ:

1. В настоящее время завершены работы по стабилизации и закреплению от дальнейшего оседания здания станционного узла ГАЭС-2. Стабилизация здания ГАЭС обеспечена путём закачки в образовавшиеся полости около 20 тыс. м³ инъекционных растворов специальных составов.

Размеры здания ГАЭС в плане составляют 74 x 106 м. Вес здания ГАЭС весьма значителен и составляет 350 тыс. т, при этом средняя распределенная нагрузка на основание невелика и составляет 4,5 кг/см². В настоящее время отсутствует мировой опыт подъёма сооружений таких размеров на высоту более 1 м. Поэтому вариант подъёма здания ГАЭС-2 с помощью инъекции специальных растворов, рекомендуемый институтом Гидропроект, и достижение горизонтального положения сооружений ГАЭС с необходимой точностью требует дополнительных исследований.

2. Подъём здания ГАЭС-2 по площади фундаментной плиты здания ГАЭС предлагается осуществить регулируемым по давлению и объёму

закачиванием раствора в зону отметок 100,0 – 105,0 м под здание станции методом компенсационного нагнетания. В то же время необходимо не допустить выход закачиваемого раствора за пределы контура здания ГАЭС-2.

3. Реализация представленного институтом «Гидропроект» варианта выравнивания здания с подъёмом его правой части на 1,2 м и опусканием левой части на 0,2 м (20 см) предложенным методом компенсационного нагнетания не имеет достаточного опыта в мировой практике. Необходимо разработать критерии эффективности выполнения работ компенсационного нагнетания по этапам.

4. Требуется разработка программно-технического комплекса по выполнению регулируемого закачивания раствора под правое крыло днища здания ГАЭС. После разработки программно-технического комплекса необходимо разработать проект производства этих работ, график выполнения работ с пуском 1-го агрегата в 2016 г.

5. Выравнивание здания Загорской ГАЭС-2 требует выполнения большого объёма научно-исследовательских работ и дополнительных проработок разных этапов выравнивания здания. Поэтому после разработки всей проектно-технической документации проект достройки Загорской ГАЭС-2 с включением этапа выравнивания рекомендуется направить в государственную экспертизу для получения положительного заключения.

С заключительным словом и по проекту решения от имени двух советов, инициировавших обсуждение проблемы, выступил член-корр. РАН, д.т.н., профессор А.Ф. Дьяков — председатель научного Совета РАН по проблемам надёжности и безопасности больших систем энергетики, председатель Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС». Он отметил, что все выступающие поддерживают выравнивание станционного узла Загорской ГАЭС-2 с помощью компенсационного нагнетания. Для реализации варианта компенсационной закачки предстоит выполнить большой объём организационно-технических, проектных работ. Необходимо научное сопровождение предлагаемых работ, поскольку это — не только проект по выравниванию станционного узла, но и большой объём научных исследований. Нужна программа проведения работ с постоянным обратным контролем. Целесообразно перед началом практической реализации работы по выравниванию станционного узла Загорской ГАЭС-2 ещё раз рассмотреть её на совместном заседании двух наших Советов.

Заслушав доклад, выступления представителей экспертных организаций, замечания и предложения членов Советов и приглашенных специалистов, выступивших в дискуссии, Совместное заседание

РЕШИЛО

1. Согласиться с выбранным ОАО «Институт Гидропроект» из пяти вариантов способом выравнивания станционного узла Загорской ГАЭС-2 с помощью компенсационного нагнетания с учётом замечаний, представленных в экспертных заключениях. Отметить, что выбранный

способ выравнивания здания в мире мало изучен, в отечественной практике не применялся и поэтому несёт определённые риски.

2. Рекомендовать ОАО «Институт Гидропроект»:

- разработать проект производства работ, график выполнения работ, программно-технический комплекс по выполнению работ. Обеспечить в ходе их реализации научно-техническое сопровождение с уточнением параметров нагнетания и составов инъекционных растворов. Оценить стоимость научно-технического сопровождения работ;
- провести комплекс инженерно-геологических изысканий;
- разработать конструктивные решения по выполнению противодиффузионных элементов напорного фронта стационарного узла;
- выполнить оценку возможности использования технологического и инженерного оборудования, технологических коммуникаций и сетей, попавших в зону воздействия произошедшего события.

3. Рекомендовать ОАО «РусГидро» и ОАО «Институт Гидропроект» после разработки программно-технического комплекса, проекта производства работ, графика выполнения работ и их стоимости до утверждения проекта рассмотреть его на совместном заседании Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС» и Совета по надёжности и безопасности больших систем энергетики РАН.

Первый заместитель Председателя
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

В.В. Молодюк

Учёный секретарь
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

Я.Ш. Исамухамедов

Учёный секретарь Совета РАН по
проблемам надёжности и безопасности
больших систем энергетики,
заведующий отделением
ОАО «ЭНИН», д.т.н., профессор

В.А. Баринов