

Научно-технический и производственный сборник

БЭС

Безопасность
энергетических
сооружений

Научно-исследовательский институт

НИИЭС

энергетических сооружений

Вып. 7
2000

**Российское акционерное общество энергетики и электрификации
«Единая энергетическая система России»
(РАО «ЕЭС России»)**

**Открытое акционерное общество
«Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»
(АО НИИЭС)**

БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Выпуск 7

**Москва
2000**

Председатель редакционного совета
к.т.н. С.О. Бритвин

Безопасность энергетических сооружений. // Научно-технический и производственный сборник. Вып.7. АО НИИЭС. М.:2000. 322 с. (цв.вкл. — 8 с.)

20-22 сентября 2000 г. на ВВЦ в павильоне «Электрификация» состоялось совещание-семинар на тему «Современные методы инструментального обследования для определения реального состояния гидротехнических электростанций России и опыт составления декларации безопасности», проведенное Департаментом научно-технической политики и развития и Департаментом электрических станций РАО «ЕЭС России». В работе совещания-семинара приняли участие работники подразделений РАО «ЕЭС России» и Минэнерго России, представители АО-энерго, АО-электростанций, проектных и научно-исследовательских институтов нашей отрасли, других ведомств и организаций.

Принимая во внимание важность и актуальность темы совещания-семинара Редакционный совет счел целесообразным опубликовать в настоящем сборнике материалы этого совещания, используя при подготовке издания стенограммные записи.

С обсуждаемой темой тесно связан публикуемый в данном номере сборника доклад генерального директора АО НИИЭС Бритвина С.О. «Предложения к концепции и программные задачи по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений ГЭС», который был сделан на выездном совместном заседании НТС РАО «ЕЭС России» и Научного Совета РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики (г.Набережные Челны, Нижнекамская ГЭС, сентябрь 2000 г.), а также выписка из Протокола указанного заседания от 7-8 сентября 2000 г. № 28.

АО НИИЭС, 123362, Москва, а/я 393,
Телефон: 493 51 32.

Строительный проезд, д. 7а
Факс: (095) 493 64 29

E-mail: info@niies.elektra.ru

© АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», 2000

Редакционный совет сборника поздравляет читателей нашего издания со знаменательной датой — 80-летием Государственного плана электрификации России (ГОЭЛРО)

**ОТ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА СОВЕЩАНИЯ-СЕМИНАРА
«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ РОССИИ И ОПЫТ СОСТАВЛЕНИЯ
ДЕКЛАРАЦИЙ БЕЗОПАСНОСТИ»**

На повестке дня совещания-семинара, проведенного в соответствии с приказом РАО «ЕЭС России» от 14.06.2000 г. № 340, стояли конкретные вопросы по реализации и научно-техническому обеспечению Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений». Указанный Закон — первый в истории отечественной энергетики акт, регулирующий на государственном уровне вопросы безопасности гидротехнических сооружений.

Необходимо отметить, что и до выхода Закона в отрасли уделялось большое внимание контролю безопасности гидротехнических сооружений. За многие годы эксплуатации гидротехнических сооружений всех типов, в том числе и уникальных плотин, на электростанциях России не было серьезных аварий этих сооружений.

Закон подчеркнул особую опасность гидротехнических сооружений в случае их аварии, придал правовой статус всему комплексу работ по обеспечению безопасности сооружений, определил ответственность организаций, осуществляющих эксплуатацию гидросооружений, за возможное нанесение ущерба в случае аварии сооружений.

За истекшие со времени выхода Закона три года Минэнерго России, РАО «ЕЭС России» и его организациями, АО-энерго, АО-электростанций была проведена значительная работа по реализации основных направлений обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. Итоги этой работы были обсуждены на совместном заседании НТС РАО «ЕЭС России». Координационного совета по отраслевой программе «Безопасность энергетических сооружений», секции Научного совета РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики на тему: «О ходе реализации и научно-техническом обеспечении Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений», а также на аналогичном совместном заседании 7 – 8 сентября 2000 г. по вопросу «Предложения к концепции и программные задачи по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений ГЭС».

В соответствии с утвержденной программой на совещании-семинаре рассмотрены несколько принципиально важных направлений обеспечения безопасности гидротехнических сооружений.

Первое из них связано с оснащением гидросооружений современными техническими средствами диагностики. Здесь, по мнению участников семинара-совещания, представляется необходимым:

на основе использования современной элементной базы разработать прецизионные технические средства диагностики сооружений, обладающие необходимой долговечностью и ремонтпригодностью, в том числе средства для оперативного контроля в ходе обследования сооружений;

завершить формирование отраслевого центра опытно-промышленного производства технических средств диагностики сооружений и оборудования электростанций, обеспечить выпуск основной номенклатуры технических средств по заявкам электростанций;

завершить оснащение всех крупных электростанций РАО «ЕЭС России» компьютерными информационно-диагностическими системами контроля безопасности основных сооружений ГЭС и ТЭС; приступить к разработке и установке на электростанциях систем диагностики оборудования, от работоспособности которого зависит безопасность ГЭС (затворы, подъемное оборудование, гидроагрегаты ГЭС).

Учитывая, что для оценки состояния сооружений по результатам инструментальных наблюдений и обследований необходимо

использовать соответствующие методы и методики расчетов сооружений, организаторы совещания сочли уместным рассмотреть наиболее важные методики, завершенные либо разрабатываемые в настоящее время. К их числу относятся: «Методика определения критериев безопасности гидросооружений», «Методика прогноза вреда, причиненного в результате возможной аварии гидросооружений», методы расчетов параметров волны прорыва, методы оценки напряженного состояния грунтовых плотин, в том числе и при сейсмических воздействиях, «Правила обследования гидросооружений электростанций».

На совещании рассмотрены практические вопросы составления деклараций безопасности гидросооружений, а также «Отраслевые требования...» к составлению этих документов.

На совещании присутствовали представители более 50 организаций (АО-энерго, АО-электростанций, научные и проектные организации, ВУЗы), представители подразделений Минэнерго России, РАО «ЕЭС России».

Организационный комитет полагает, что цель совещания-семинара — повышение квалификации эксплуатационного персонала электростанций и обмен опытом специалистов по инструментальному обследованию состояния гидротехнических сооружений и составлению деклараций их безопасности — была достигнута.

О ДЕКЛАРИРОВАНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ОБ ОТРАСЛЕВЫХ ТРЕБОВАНИЯХ ДЕКЛАРИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС

Радкевич Д.Б., директор НТЦ энергонадзора Минэнерго РФ

Вопрос о ходе декларирования рассматривался ровно год назад на НТС РАО «ЕЭС России» совместно с Координационным советом по безопасности ГТС и рядом других советов. Там были представлены не только работники Аппарата РАО и институтов РАО, но и многие работники эксплуатируемых электростанций — директора электростанций, специалисты. И надо сказать, что вопрос о декларировании, о самой декларации и ее содержании нашел многочисленных критиков и в том числе критиков, которые внесли ряд хороших ценных предложений.

За прошедший год после этого Совета, на котором было решено ускорить проведение декларирования, закончив его в основном в 2001 году, мы следовали тем решениям, которые были приняты на Совете, и уплотнили график проведения декларирования. На этот год у нас было запланировано 76 объектов из 202 объектов, которые подлежат первичному декларированию. Надо сказать, что меры, которые были приняты РАО и Министерством после прошедшего совещания, ускорили разработки деклараций. График 1999 г. практически полностью выполнен, за исключением тех объектов, которые были перенесены на 2000 г. Что касается графика декларирования 2000 г., то в целом работа идет лучше, чем в 1999 г., но тем не менее конечно темпы такие, что основной пик поступления деклараций приходится на конец года. Прошло уже 3/4 года, а сдано в Госэнергонадзор из 76 деклараций 32. Это хорошо по сравнению с прошлым годом, но объективно плохо, потому что за полгода надо было выполнить программу хотя бы наполовину, а за 3/4 года тем более. Но у нас есть данные и о том, как идет разработка этих деклараций: к концу года в основном график будет выполнен.

Что касается качества деклараций. Здесь надо сказать, что качество деклараций становится лучше. Пока, правда, ни одной декларации у нас не прошло без замечаний и исправлений: все до единой декларации приходится возвращать на доработку. Свои плоды дали семинары, которые проводили с эксплуатационниками в последние два года, издания в печати, которые мы сейчас предприняли: издается приложение к журналу «Гидротехническое строительство». В основном это практическое пособие для разработчиков деклара-

ций, для эксплуатационников как по выполнению законов в целом по безопасности, так и по декларированию. Сейчас две таких книжки изданы: первая книга посвящена реализации Закона в целом как по нашему министерству, так и по другим министерствам, которые осуществляют государственный надзор за безопасностью гидросооружений; второй выпуск касается вопросов формирования Регистра, т.е. государственной регистрации гидротехнических сооружений в Российском регистре. Третий выпуск специально посвящен декларированию: сейчас сдан в набор и в ближайшее время выйдет. Поэтому мы рекомендуем присутствующим приобретать и подписываться на эти сборники, рекомендовать их нашим эксплуатационникам.

Какие типичные ошибки, о которых хотелось бы сказать. В общем декларация как документ, который обосновывает безопасность гидротехнических сооружений, состоит в основном из трех разделов, несущих основной смысл выполняющей цели декларирования.

Первый раздел декларации касается сведений о гидротехнических сооружениях — формальные сведения, о владельце, месте расположения, геологических характеристиках и т.д. Описание гидротехнических сооружений и характеристики их технического состояния. Этот раздел фактически повторяет, с некоторыми дополнениями, привычную для всех справку о состоянии гидротехнического сооружения, которая представляется при обследовании ГТС — очень нового там ничего нет. Тем не менее приходится возвращать с замечаниями такого рода: скажем, не могут грамотно определить кто есть кто, т.е. кто собственник этого сооружения, кто эксплуатирующая организация, несмотря на то что и в Законе, и в подзаконных актах наших это достаточно четко определено, т.е. любое АО, самостоятельное, являющееся юридическим лицом, владеющее гидротехническими сооружениями, имеющее право пользования и распоряжения над этими сооружениями, является собственником. Возникает вопрос: является ли собственником сооружений дочернее АО РАО «ЕЭС России». РАО «ЕЭС России» — акционер, владеющий контрольным пакетом, осуществляющий определенные функции управления в соответствии с уставом этого АО и уставом РАО. Но собственником имущества является АО. Поэтому именно АО-энерго — эти акционерные общества, представляющие самостоятельно электростанции, имеющие организационно-правовую форму, — являются собственниками и они несут всю полноту ответственности за безопасность сооружений и за выполнение тех функций, которые на собственника возложены Законом «О безопасности гидротехнических сооружений».

Другой характерный пример. Например, филиал РАО «ЕЭС России». Филиал РАО «ЕЭС России» определенно не является собственником, поскольку он не является юридическим лицом. Например, Саратовская ГЭС - вся ответственность как на собственнике лежит непосредственно на РАО «ЕЭС России». Это его имущество и оно отвечает также как любое АО-энерго за этот объект. Директор действует в соответствии с доверенностью, если ему дано представлять. Но собственник здесь — РАО «ЕЭС России». Или часть сооружения находится в федеральной собственности, находясь одновременно в ведении акционерных обществ. Такая ситуация тоже есть. Например, все гидротехнические сооружения гидроэлектростанций Ангарского каскада, кроме зданий электростанций, находятся в собственности государства. Но это собственность, которую Министерство Госкомимущества в свое время передало в хозяйственное ведение Иркутскэнерго. Значит, Иркутскэнерго выступает в двух лицах: по отношению к зданиям ГЭС как собственник, а по отношению к остальным сооружениям как эксплуатирующая организация в том определении, которое дал Закон. То есть это организация, эксплуатирующая федеральную собственность, следовательно, она несет ответственность как за свою собственность, так и за федеральную собственность, которая передана ей в хозяйственное ведение.

Я не хочу говорить о мелких вещах, но есть такие мелочи, на которые надо обращать внимание, потому что они могут перерасти в крупные правовые проблемы потом. Допустим, делается перечень гидротехнических сооружений, затем приводятся чертежи, и приводятся описания, и в чертежах наименования этих сооружений не соответствуют перечню, не соответствуют наименованию, которое применяется в тексте декларации. Казалось, это обыкновенная небрежность, но она к чему может привести: наименования в сооружении должны идти в полном соответствии с проектом, строго по проекту. Если будет такая путаница, то при страховании гражданской ответственности за вред, причиненной аварией сооружения, при возмещении вреда могут возникнуть правовые коллизии, которые ни к чему хорошему не приведут. Например, страховщик, пользуясь этим несоответствием, может отказаться от выплаты, и значит все возмещение вреда будет лежать на собственнике этого сооружения.

Второй раздел декларации наиболее сложный — это анализ уровня безопасности гидротехнических сооружений. Надо сказать, что здесь мы пока находимся еще почти в начальной стадии по нормативному обеспечению этой оценки уровня безопасности. Сегодня

разработаны методики оценки риска аварий или уровня безопасности ГТС в АО НИИЭС и в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». В ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» выпущен стандарт института, куда как составная часть вошла и методика АО НИИЭС. Вот пока уровень наших нормативно-методических документов - это уровень институтов. Конечно, этот уровень надо поднимать до отраслевого, это во-первых. Во-вторых, сами методики сегодня требуют дальнейшей разработки: чтобы их поднять на следующий уровень, они должны быть доработаны. Если мы придем, в конце концов, к нормированию уровня риска, так как нормирование уровня риска определено Законом — сегодня это положение Закона не выполняется, то соответственно и методика должна быть единой. Она может иметь варианты, скажем для сооружений разных классов. Но она должна быть единой, потому что никакого нормирования при различии в методиках не может быть: ведь разные методики дают разные результаты. Но, тем не менее, мы сейчас реализуем использование существующих методик — это лучше, чем ничего, я прошу прощения за такое упрощенчество. Это шаг вперед и шаг вперед большой, т.е. мы уже имеем возможность оценивать вероятность аварии. Эта та величина, которая необходима для того, чтобы в дальнейшем, во-первых, иметь возможность объективного сравнения уровня безопасности разных сооружений на одном объекте и на разных объектах. И второе, это инструмент для гарантированного возмещения вреда, который может быть причинен аварией сооружения. Поскольку единственный выход в создании финансового обеспечения этой ответственности — это страхование, то при страховании знать вероятность страхового случая необходимо. Вот я вижу здесь представители страховых компаний присутствуют: для них это азбука — нельзя страховать ответственность при неизвестной вероятности страхового события.

Вот в части методики АО НИИЭС — это очень хорошая методика, она уже отработана до такой степени, что ее применяют на станциях, не обращаясь к научным организациям, но надо сделать последний шаг — это переход от этой балльной сравнительной оценки к вероятности аварии, иначе мы не сможем этой методикой пользоваться в условиях нормирования уровня риска. Я должен сказать, что на прошлогоднем совещании, о котором я говорил, критиковались правила декларирования с позиции, что не все может персонал станции сделать своими силами и что необходимо привлекать научные организации для оценки риска, для оценки состояния сооружения и т.д. Но сам по себе факт привлечения научной органи-

зации — это вещь отрадная, это нужно делать, конечно, если станция хочет сделать и представить документы на более высоком уровне и более обоснованно. Но я должен сказать, что уже сегодня по представленным декларациям 20 % станций представили декларации, разработанные целиком собственными силами, и это не самые плохие декларации, я должен сказать. Вот, скажем, последняя из деклараций — декларация Новомосковской ГРЭС: очень хорошо сделанный документ, конечно, есть в нем шероховатости, но поработали основательно. Я уже не говорю о Саяно-Шушенской, Майнской ГЭС, где в эксплуатационном персонале работают доктора и кандидаты наук, где все это сделано тоже самостоятельно естественно, но на очень высоком уровне,

И о третьем разделе декларации. Третий раздел касается больше вопросов МЧС. Это сравнительно краткие сведения, допустимые для открытой публикации, о готовности объекта к предупреждению и локализации чрезвычайных ситуаций в защите территории и населения. И здесь нас иногда упрекают, что мы работаем в тесном контакте с МЧС, что не нужно их «пускать в этот огород». Ну это совсем неправильно. Третий раздел декларации целиком находится под контролем МЧС. Обязательно в декларации должно быть в качестве приложения заключение территориального органа МЧС о готовности объекта к этим действиям. И я считаю, что то, что мы делаем, себя оправдывает: тесная работа с центральным аппаратом МЧС, с территориальными органами на местах, безусловно, приносит свои плоды. Потому что цель общая: не допустить аварий наших крупных объектов.

В заключение два слова об *изменениях в Правилах декларирования*, которые мы сейчас вводим. В целом структура декларации остается практически неизменной, но в деталях мы ее меняем: в первую очередь исключаем повторы, в разных разделах были вопросы, которые приводили к тому, что одни и те же данные приводились два и даже три раза. Например, мероприятия по обеспечению безопасности ГТС в трех разделах упоминаются, причем в разной редакции и в разном составе. Вот такой параллелизм и повторы мы исключаем. Упростили несколько заначенных и не столь необходимых требований, которые трудны для исполнения. Если мы говорим о нормах, по которым считалось сооружение, если мы говорим об обосновании проектов, т.е. уже детально, какие исследования, какие расчеты выполнялись, то эти материалы относительно легко поднять для крупных сооружений, построенных сравнительно недавно, и совершенно невозможно для сооружений, построенных 50 и более

лет назад. На тепловых станциях тоже очень бедно с проектными материалами. Поэтому у нас подход сейчас к этому такой: проект — это основа, проект и его реализация. А для того чтобы оценить сегодня уровень безопасности этого сооружения, надо провести поверочные расчеты по сегодняшним нормам, используя данные проекта и данные строительства и независимо даже от класса (скажем сооружение строилось второго класса, а в нижнем бьефе произведена застройка, которая уже приводит к тому, что сооружение должно отвечать требованиям по первому классу), значит надо просчитать его по этим требованиям как сооружение первого класса, и дальше решать, если оно в какой-то части не удовлетворяет требованиям сегодняшних норм проектирования, значит надо проводить реконструкцию, усиление, какие-то сооружения ликвидировать, но нельзя подвергать опасности население, которое находится в зоне потенциального затопления. Вот это главное. А какие нормы были и какие исследования проводились — это интересно, но это вещь второстепенная. И ряд других чисто редакционных изменений. Мы ввели отдельные пункты, которые содержат пояснения, что нужно помещать в этом разделе. Мы ввели эти пояснения в кратком виде для того, чтобы правильно понимали, как нужно готовить соответствующие разделы декларации. В целом, я бы мог конечно сказать, что можно критиковать ситуацию с декларированием в энергетике: конечно, мы на 100 % программу не выполняем и какое-то время не будем выполнять. Причины здесь нам в основном выдвигают финансовые: что нет средств для подготовки деклараций, но тем не менее положение в энергетике во много раз лучше, чем в остальных отраслях, где только-только это начинается: Министерство транспорта только что утвердило правила декларирования и начинает эту работу, Министерство природных ресурсов начало раньше, но тоже вот бьется безденежьем владельцев этих сооружений. У нас ситуация лучше, это естественно, так как у нас крупные сооружения, достаточно состоятельные владельцы и высокая культура эксплуатации, исторически образованная. Мы с вами живем в более «оранжерейных» условиях.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПЛАНОВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГЭС. О «ПРАВИЛАХ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГЭС ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ»

*Зотов В.М., начальник отдела эксплуатации Департамента
электростанций РАО «ЕЭС России»*

Действующая в отрасли почти в течение 30 лет система отраслевого надзора за безопасностью гидротехнических сооружений имеет большое значение для обеспечения надежной и безаварийной эксплуатации сооружений электростанций, она полностью себя оправдала и позволила избежать крупных аварий на гидротехнических сооружениях электростанций.

Важнейшим элементом системы является осуществление эксплуатационным персоналом электростанций контроля за состоянием гидротехнических сооружений на основе действующих нормативных документов, а также рекомендаций ведущих научно-исследовательских и проектных организаций.

Данные наблюдений за состоянием гидротехнических сооружений являются исходной информацией для своевременного обнаружения опасных процессов, служат основой для анализа причин выявленных отклонений от проектных режимов работы сооружений, обеспечивают базу для разработки и реализации мероприятий по предотвращению или ликвидации их повреждений.

Плановые обследования сооружений централизованными комиссиями позволяют проверить уровень организации наблюдений за гидротехническими сооружениями; выполнить анализ оценки технического состояния сооружений, сделанной эксплуатационным персоналом и специализированными организациями; определить достаточность принимаемых мер по обеспечению надежности и безопасности сооружений; привлечь в необходимых случаях и научно-исследовательские организации для анализа и диагностики состояния сооружений.

Система устанавливает ответственность энергопредприятий, строительных, проектных и научно-исследовательских организаций за безопасность сооружений на различных стадиях их проектирования, строительства и эксплуатации.

Ежегодно в РАО «ЕЭС России» выпускаются приказы, которыми утверждаются на каждый год «Графики обследования гидротехнических сооружений электростанций РАО «ЕЭС Рос-

сии» и назначаются специализированные комиссии для проведения централизованных обследований состояния гидротехнических сооружений электростанций.

В состав комиссий по обследованию сооружений электростанций РАО «ЕЭС России» включаются ведущие специалисты проектных и научно-исследовательских организаций, представители территориальных АО-энерго, специалисты Госэнергонадзора и Энерготехнадзора, работники гидротехнических служб и цехов электростанций.

Как правило, ежегодно в обследованиях гидротехнических сооружений электростанций РАО «ЕЭС России» принимают участие более 200 ведущих специалистов отрасли.

За последнее пятилетие с 1995 по 2000 годы специализированными комиссиями проведены централизованные обследования состояния сооружений 200 электростанций, в том числе почти 100 гидроэлектростанций.

Материалы обследований показывают, что на большинстве объектов состояние сооружений отвечает требованиям их надежной и безопасной эксплуатации; контрольные наблюдения, выполняемые персоналом электростанций, техническое обслуживание и ремонтные мероприятия обеспечивают работоспособность сооружений и их механического оборудования.

Вместе с тем анализ актов обследования показывает, что в последние годы наблюдается опасная тенденция увеличения выявленных дефектов и повреждений, требующих принятия неотложных мер по их устранению. Особенно это относится к сооружениям гидроузлов, находящихся в эксплуатации 40 и более лет.

Основные проблемы бетонных сооружений электростанций, выявленные при их обследовании:

разрушение бетонных конструкций плотин и зданий ГЭС в зоне переменного уровня воды;

износ механического оборудования гидротехнических сооружений;

неудовлетворительное состояние переходов через гидроузлы;

ограничения пропускной способности ряда гидроузлов.

По грунтовым плотинам и дамбам отмечено:

разрушение бетона откосов в зоне переменного уровня воды (бетонные плиты крепления верховых и низовых откосов);

вынос грунта из-под бетонных плит крепления откосов и просадка бетонных плит;

разрушение деформационных швов между бетонными плитами крепления;

недостаточный объем контрольно-измерительной аппаратуры для получения полной и достоверной информации о состоянии грунтовых плотин.

На ряде гидроэлектростанций комиссиями выявлены недостатки, требующие принятия неотложных мер для их устранения. К таким гидроузлам можно отнести Камскую, Рыбинскую, Угличскую ГЭС, гидроэлектростанции каскадов ГЭС на Северо-Западе.

В этом году актом обследования установлено неудовлетворительное состояние Тишиклинской дамбы на Чиркейской ГЭС. Она не нашего ведомства, ее собственник Водресурсы, но ее состояние вызывает большие опасения, а поскольку мы отвечаем за весь напорный фронт плотины, то должны быть срочно приняты меры по приведению ее в надлежащее состояние. Практически на всех гидроузлах сегодня необходимо выполнить большие объемы работ по ремонту и реконструкции кранового оборудования водосливных плотин и зданий ГЭС. На некоторых объектах требуется срочная замена если не самих конструкций кранового оборудования, то электротехнического оборудования: несомненно оно должно быть заменено, потому что оно эксплуатируется больше 40 лет. Мостовые переходы через гидроузлы обследованных ГЭС, сооруженных несколько десятилетий назад, не в состоянии в настоящее время обеспечить нормальный пропуск возросшего грузопотока. Конструкции мостовых переходов на Угличской, Нижегородской, Камской ГЭС требуют срочного проведения работ по их ремонту и реконструкции. На ряде гидроузлов должны быть проведены работы по повышению надежности сооружений в связи с новыми более высокими нормативами сейсмичности регионов расположения этих гидроузлов - это Зейская, Чиркейская, Миатлинская, Чирюртская ГЭС.

О выполнении ремонтных работ. Анализ выполнения ремонтных работ на гидротехнических сооружениях наших электростанций за 1999 год показывает, что в последние годы ситуация в этой области существенно улучшилась. У нас был большой провал по финансированию ремонтных работ на гидротехнических сооружениях в 1993, 1994 и частично в 1995 гг. Если сравнивать затраты на ремонтные работы в целом по нашей отрасли, то в 1994 г. это были затраты на сумму примерно 130 млн. руб., в 1999 г. это была уже сумма более 400 млн. руб., т.е. почти в три раза сегодня затраты на выполнение этих ремонтов увеличились. С одной стороны, это говорит о том, что вопросы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений не остаются без внимания эксплуатационного персонала гидроэлектростанций, и на гидроузлах выполняется определенный объем

ремонтных работ, но с другой стороны — это показатель нарастания проблем, связанных со старением сооружений, выявлением дефектов и повреждений, требующих неотложного устранения. Следует ожидать, что в дальнейшем потребность в этих затратах будет возрастать, и надо прямо сказать, что сегодня в состав тарифа на электроэнергию включаются только горящие первоочередные работы, а многие проблемы, связанные с большими финансовыми затратами, как правило, отодвигаются на более позднюю перспективу и когда будут решены — трудно сказать.

В 1999 г. было отмечено хорошее выполнение мероприятий, рекомендованных комиссиями по обследованию. Так, например, из 218 мероприятий по обследованным станциям были выполнены почти 90 % этих мероприятий, а остальные находились в стадии выполнения. В целом это говорит о том, что персонал достаточно внимательно относится к тем рекомендациям, которые им дают специалисты наших комиссий. В среднем доля затрат на ремонт сооружения в составе тарифов на электроэнергию — я могу только сказать по электростанциям федерального уровня, т.е. станциям, работающим на ФОРЭМ, — около 10 % при неоднозначном распределении между электростанциями: например, на Зейской ГЭС — около 3 %, а на Волжской ГЭС эта доля составляла больше 30 % затрат в составе тарифов. В основном это связано, конечно, с объемами работ: на Волжской ГЭС затраты были достаточно высокими, потому что обследованиями нижнего бьефа было установлено наличие больших размывов. Работы по устранению размывов ведутся уже второй год и поэтому в состав тарифов включены такие достаточно большие суммы. Но, с другой стороны, состояние сооружений таких станций, как Камская, Рыбинская, Нижегородская, Угличская — это не самые лучшие станции по надежности и безопасности работы сооружений, и в то же время величина средств, закладываемых на них в тарифы, достаточно маленькая.

Особенно следует отметить — об этом будут наверное подробные доклады — выполнение в 1999 г. и в первом полугодии 2000 г. больших объемов работ на гидроузлах, сооружения которых находятся в настоящее время в неисправном состоянии. Эти работы продолжаются на Саяно-Шушенской ГЭС. Наверное, Лев Александрович более подробно расскажет об этих работах. На Курейской ГЭС ведутся работы по восстановлению противоточных свойств ядра русловой плотины: к настоящему времени из запланированного объема сделано почти 70 % на длине аварийного участка. В целом, на 2000 год по зданиям и сооружениям гидроэлектростанций РАО пре-

недостаточный объем контрольно-измерительной аппаратуры для получения полной и достоверной информации о состоянии грунтовых плотин.

На ряде гидроэлектростанций комиссиями выявлены недостатки, требующие принятия неотложных мер для их устранения. К таким гидроузлам можно отнести Камскую, Рыбинскую, Угличскую ГЭС, гидроэлектростанции каскадов ГЭС на Северо-Западе.

В этом году актом обследования установлено неудовлетворительное состояние Тишиклинской дамбы на Чиркейской ГЭС. Она не нашего ведомства, ее собственник Водресурсы, но ее состояние вызывает большие опасения, а поскольку мы отвечаем за весь напорный фронт плотины, то должны быть срочно приняты меры по приведению ее в надлежащее состояние. Практически на всех гидроузлах сегодня необходимо выполнить большие объемы работ по ремонту и реконструкции кранового оборудования водосливных плотин и зданий ГЭС. На некоторых объектах требуется срочная замена если не самих конструкций кранового оборудования, то электротехнического оборудования: несомненно оно должно быть заменено, потому что оно эксплуатируется больше 40 лет. Мостовые переходы через гидроузлы обследованных ГЭС, сооруженных несколько десятилетий назад, не в состоянии в настоящее время обеспечить нормальный пропуск возросшего грузопотока. Конструкции мостовых переходов на Угличской, Нижегородской, Камской ГЭС требуют срочного проведения работ по их ремонту и реконструкции. На ряде гидроузлов должны быть проведены работы по повышению надежности сооружений в связи с новыми более высокими нормативами сейсмичности регионов расположения этих гидроузлов - это Зейская, Чиркейская, Миатлинская, Чирюртская ГЭС.

О выполнении ремонтных работ. Анализ выполнения ремонтных работ на гидротехнических сооружениях наших электростанций за 1999 год показывает, что в последние годы ситуация в этой области существенно улучшилась. У нас был большой провал по финансированию ремонтных работ на гидротехнических сооружениях в 1993, 1994 и частично в 1995 гг. Если сравнивать затраты на ремонтные работы в целом по нашей отрасли, то в 1994 г. это были затраты на сумму примерно 130 млн. руб., в 1999 г. это была уже сумма более 400 млн. руб., т.е. почти в три раза сегодня затраты на выполнение этих ремонтов увеличились. С одной стороны, это говорит о том, что вопросы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений не остаются без внимания эксплуатационного персонала гидроэлектростанций, и на гидроузлах выполняется определенный объем

ремонтных работ, но с другой стороны — это показатель нарастания проблем, связанных со старением сооружений, выявлением дефектов и повреждений, требующих неотложного устранения. Следует ожидать, что в дальнейшем потребность в этих затратах будет возрастать, и надо прямо сказать, что сегодня в состав тарифа на электроэнергию включаются только горящие первоочередные работы, а многие проблемы, связанные с большими финансовыми затратами, как правило, отодвигаются на более позднюю перспективу и когда будут решены — трудно сказать.

В 1999 г. было отмечено хорошее выполнение мероприятий, рекомендованных комиссиями по обследованию. Так, например, из 218 мероприятий по обследованным станциям были выполнены почти 90 % этих мероприятий, а остальные находились в стадии выполнения. В целом это говорит о том, что персонал достаточно внимательно относится к тем рекомендациям, которые им дают специалисты наших комиссий. В среднем доля затрат на ремонт сооружения в составе тарифов на электроэнергию — я могу только сказать по электростанциям федерального уровня, т.е. станциям, работающим на ФОРЭМ, — около 10 % при неоднозначном распределении между электростанциями: например, на Зейской ГЭС — около 3 %, а на Волжской ГЭС эта доля составляла больше 30 % затрат в составе тарифов. В основном это связано, конечно, с объемами работ: на Волжской ГЭС затраты были достаточно высокими, потому что обследованиями нижнего бьефа было установлено наличие больших размывов. Работы по устранению размывов ведутся уже второй год и поэтому в состав тарифов включены такие достаточно большие суммы. Но, с другой стороны, состояние сооружений таких станций, как Камская, Рыбинская, Нижегородская, Угличская — это не самые лучшие станции по надежности и безопасности работы сооружений, и в то же время величина средств, закладываемых на них в тарифы, достаточно маленькая.

Особенно следует отметить — об этом будут наверное подробные доклады — выполнение в 1999 г. и в первом полугодии 2000 г. больших объемов работ на гидроузлах, сооружения которых находятся в настоящее время в неисправном состоянии. Эти работы продолжаются на Саяно-Шушенской ГЭС. Наверное, Лев Александрович более подробно расскажет об этих работах. На Курейской ГЭС ведутся работы по восстановлению противоточных свойств ядра русловой плотины: к настоящему времени из запланированного объема сделано почти 70 % на длине аварийного участка. В целом, на 2000 год по зданиям и сооружениям гидроэлектростанций РАО пре-

дусмотрено выполнение объемов работ на сумму 530 млн. руб. По сравнению с 1999 г. это увеличение почти на 90 млн. руб. или на 17%, т.е. мы опять видим картину достаточно благополучную. Но ситуация в 2000 г. с выполнением была осложнена тем, что тарифы на электроэнергию электростанций были утверждены только во второй половине 2000 г. Поэтому запланированные затраты мы не могли использовать на эти работы, и только в 3 и 4 кварталах был установлен баланс между тем, что было запланировано, и тем, что Федеральная энергетическая комиссия утвердила в составе тарифа. Но несмотря и на такие сложности с тарифами в этом году в первом полугодии работы по ремонту гидротехнических сооружений наших станций выполнены на 156 млн. руб., или 61 % от запланированных. Достаточно большие объемы работ были выполнены на Волжской ГЭС, они даже были перевыполнены: при плане в 34 млн. руб. работы выполнены на 37 млн. руб. Еще раз повторю, что большой объем работ выполнен на Саяно-Шушенской ГЭС, на Курейской ГЭС, т.е. в целом ситуация складывается не так уж плохо.

Какие проблемы в ближайшее время должны быть решены подразделениями РАО с вашим участием? Надо сказать, что были некоторые сложности в организации централизованных обследований гидроэлектростанций РАО, но усилиями Департамента электрических станций и Департамента научно-технической политики и развития все-таки этот вопрос был решен, и надо надеется, что и в 2001 г. мы сможем проводить обследования наших станций и обеспечить организацию этих обследований. Второй вопрос, который требует тоже внимания со стороны подразделений РАО: у нас осложнились несколько вопросы взаимодействия с нашими смежниками по делам, связанным с состоянием шлюзовых сооружений, и по защитным сооружениям на водохранилищах. Здесь должна быть организована соответствующая работа нашим Департаментом и Департаментом научно-технической политики с тем, чтобы мы, как ответственные в целом за все сооружения напорного фронта, имели обстоятельную информацию о состоянии этих сооружений не нашего ведомства и могли ну если не заставить их содержать в нормальном состоянии, то хотя бы ставить в известность о тех проблемах, которые там возникают.

И один из очень сложных вопросов, но он потребует решения, наверное, в самое ближайшее время, — надо пересматривать положение об отраслевой системе надзора. То, что мы писали 7 лет назад, сегодня уже устарело, устарел даже перечень электростанций, который там приведен, и надо во взаимодействии с Минэнерго

России эту работу, наверное, планировать на следующий год, с тем чтобы уже исходя из сегодняшних понятий, из сегодняшнего состояния по акционированию электростанций делать новый документ. Это вот по теме обследования гидротехнических сооружений.

И буквально два слова, поскольку нет авторов, о документе, который недавно сделан ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». Документ разработан под названием «Правила обследования гидротехнических сооружений» под руководством А.Г. Василевского. Коллектив ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» выпустил такой документ. Мы с ним внимательно ознакомились. В целом впечатление очень хорошее. Я считаю, что документ чрезвычайно полезен. Он определяет многие разделы, с которыми мы ежегодно сталкиваемся при организации комиссий и проведении обследований гидротехнических сооружений: разработаны предложения по порядку организации, по программе работы комиссий, указаны многие моменты, т.е. поработали грамотные специалисты, профессионалы, проводшие не одно обследование наших сооружений. Есть некоторые поправки, которые сейчас в стадии обсуждения и, наверное, мы их в ближайшее время передадим в Департамент научно-технической политики и развития для рассмотрения и утверждения этого документа. Единственное замечание и его, наверное, надо будет обсудить — документ достаточно объемный, поскольку специалисты хотели изложить все, что они знают и желают выполнить при проведении обследования. Возникает сомнение, что комиссия за ту неделю, которую она находится на станции, в полном объеме такую работу выполнить навряд ли сможет. Поэтому есть предложение выпустить этот документ не как Правила, а как Рекомендации, т.е. иметь его обязательно под рукой как хорошую шпаргалку для проведения обследования.

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ГЭС. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Бритвин С.О., кандидат техн. наук, Белостоцкий А.М., доктор
техн. наук, Щербина В.И., Лобач А.А., Бердичевский Г.Ю.,
кандидаты техн. наук (АО НИИЭС)*

Энергетические сооружения крупных электростанций являются уникальными сооружениями, рассчитанными на длительную эксплуатацию. Возможные ошибки при изысканиях, проектировании и возведении крупных сооружений, а главное — временная деградация свойств материалов, не позволяют обеспечить их абсолютную надежность.

Соответствие работы сооружения проекту оценивается в период его возведения и эксплуатации на основе результатов наблюдений: визуальных и полученных с помощью контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Общее количество КИА в сооружениях в зависимости от их сложности, высоты, протяженности и состава наблюдений составляет от 200 до 3000 и более приборов на одном сооружении.

Так, в сооружениях Цимлянской ГЭС установлено около 1000 измерительных преобразователей, Волжской ГЭС имени В.И. Ленина — 1815, Саратовской ГЭС — 2029, Загорской ГАЭС — 1950, Нововоронежской, Калининской, Запорожской, Балаковской АЭС по 500 преобразователей на каждый энергоблок.

В соответствии с ПТЭ результаты регулярных измерений по КИА должны оперативно обрабатываться, а полученные значения измеренных показателей состояния сооружения сопоставляться с критерийными значениями. После оперативной оценки состояния сооружения должен выполняться анализ результатов наблюдений для более полной диагностики сооружения. Общее количество операций по обработке и анализу результатов наблюдений, например, для сооружений Загорской ГАЭС, эксплуатируемых десять лет, составляет более трех миллионов. Качественно выполнить такой объем операций по обработке, хранению и анализу информации о состоянии сооружений без компьютерной системы диагностики просто невозможно.

В развитых индустриальных странах компьютерные системы мониторинга состояния сооружений стали неотъемлемой частью энергетических объектов.

Исходя из важности рассматриваемого вопроса, на выездном заседании НТС РАО «ЕЭС России», проходившем 7–8 сентября этого года на Нижнекамской ГЭС, принято решение об оснащении до 2005 г. всех крупных энергетических объектов отрасли информационно-диагностическими системами контроля состояния сооружений (сокращенно ИДС). Это очень своевременное решение с учетом того, что Госэнергонадзор РФ рассматривает вопрос по включению требования о наличии на объектах ИДС в обязательный перечень для утверждения декларации безопасности гидротехнических сооружений.

Рассмотрим перспективную схему организации отраслевого мониторинга состояния энергетических сооружений (рис. 1).



Рис.1. Перспективная схема организации отраслевого мониторинга состояния сооружений.

В настоящее время идет процесс оснащения крупных электростанций объектовыми ИДС контроля состояния сооружений. Так, АО НИИЭС установлены ИДС на Загорской ГАЭС, Костромской ГРЭС, на Волжской, Саратовской, Нижегородской, Камской, Широковской ГЭС, на ряде зарубежных объектов. Разрабатываются компьютерные системы и на самих электростанциях, например больших успехов в этом деле добились на Саяно-Шушенской ГЭС. В бли-

жайшей перспективе планируется организовать обмен информацией в реальном масштабе времени между объектовыми ИДС и Отраслевой информационно-диагностической системой контроля состояния сооружений ГЭС и ТЭС. Разработка и обслуживание такой объединенной системы будет поручена Информационно-диагностическому центру РАО «ЕЭС России», создание которого запланировано решением НТС РАО «ЕЭС России». А в этой связи важно, чтобы различные объектовые ИДС имели совместимые формы представления данных и параметры информационного обмена. В ближайшее время будут разработаны отраслевые нормативные документы для объектовых информационно-диагностических систем.

Рассмотрим структурную схему объектовой ИДС контроля состояния сооружений (рис. 2).

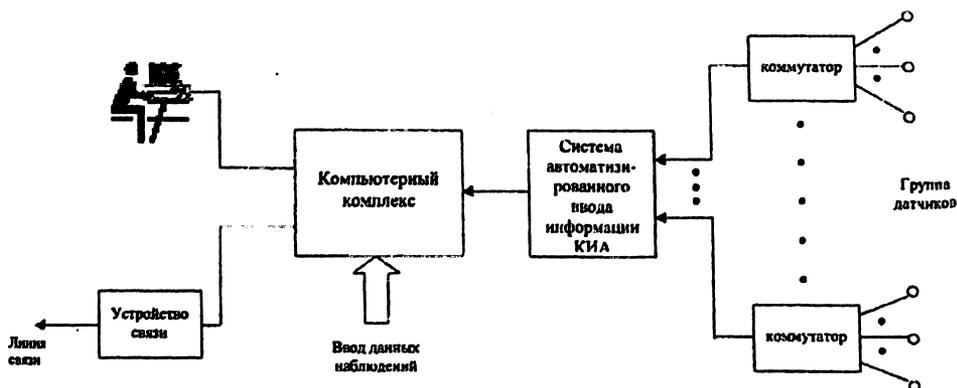


Рис.2. Структурная схема объектовой информационно-диагностической системы контроля состояния сооружений

Первичным источником информации о состоянии сооружений являются показания КИА и данные наблюдений. Исходные данные обрабатываются компьютерным комплексом и предназначены для: работников службы эксплуатации, отвечающих за безопасную работу сооружений и обслуживающих систему наблюдений; экспертов, призванных анализировать поведение сооружений, назначать и корректировать критерии оценки их состояния; ответственных работников отрасли, которые получают доступ к информации через отраслевую информационно-диагностическую систему.

Одним из узких мест, требующим усиленной проработки, является автоматизированный ввод в ИДС показаний КИА. Работы

в этом направлении ведутся как в АО НИИЭС, так и на самих объектах. Определенные успехи в решении этой задачи имеются опять же на нашей передовой Саяно-Шушенской ГЭС.

Не снимается с повестки дня работа по совершенствованию контрольно-измерительной аппаратуры. Этой теме будет посвящен следующий доклад на настоящем семинаре, поэтому я не буду подробно касаться.

Проанализируем структуру программного обеспечения информационно-диагностической системы (рис. 3). В целом программное обеспечение представляет собой трехуровневую объектно-ориентированную систему.



Рис.3. Структура программного обеспечения информационно-диагностической системы.

Верхний уровень — это оболочка, объектно-независимая среда, содержащая набор функций для работы с базой данных.

Общие функции оболочки:

реализация методов оценки уровня безопасности сооружений;
 обеспечение работы как с количественной, так и с качественной информацией;

обеспечение пользователя контекстно-зависимой помощью.

Средства интерфейса с базой данных:

формирование и обслуживание архива показаний датчиков;
 просмотр и предварительная обработка данных натуральных наблюдений;

контроль состояния сооружений. для которого используют показатели состояния сооружений, критерии безопасности, правила оценки состояния сооружений;

регрессионный анализ результатов наблюдений с целью уточнения критериальных значений контролируемых показателей состояния;

прогноз реакции сооружения на внешнее воздействие на основе расчетов по откалиброванным математическим моделям.

Средства представления данных в виде:

временных графиков на одной или нескольких координатных сетках;

эпюр, изолиний, таблиц, экранных форм и отчетов.

База данных — это объектно-зависимая система, в которую входят такие разделы, как: описание структуры объектов наблюдений; характеристики видов наблюдений; характеристики типов установленной КИА; предметы наблюдений; единицы и системы измерения; вычисляемые параметры; критериальные оценки; прогнозные модели; отчетные материалы; справочная информация; акты централизованных обследований и разделы декларации безопасности.

Эта часть предназначена для настройки ИДС на конкретный объект и обеспечения интегрированного доступа к архиву показаний датчиков.

Архив показаний датчиков представляет собой постоянно пополняемое хранилище данных натуральных наблюдений и показаний КИА, установленной на станции. Эти данные совместно с базой данных являются информационным наполнением оболочки, но при этом не зависят от нее.

В АО НИИЭС разработаны два типа информационно-диагностических систем: БИНГ-2 и Си Мон Экс. Обе системы используют стандартные Windows компоненты доступа к базам данных и являются программно-совместимыми между собой.

ИДС БИНГ-2 ориентируется на использование стандартных пакетов программ, таких как WINDOWS-98, Office-98, WORD, PARADOX, SURFER, и требует использования персонального компьютера с жестким диском емкостью 2 Гбайта и оперативной памятью 32-64 Мбайта. Поставляется дистрибутивом на CD-диске в конфигурации, предлагаемой Заказчиком.

В настоящее время данная система установлена на ГЭС Волжско-Камского каскада, Рижской, Дубоссарской, Широковской ГЭС. На ее базе создана по заказу РАО «ЕЭС России» типовая

ИДС, которая поставляется дистрибутивом на CD — диске и может быть установлена потребителем самостоятельно.

Функциональная схема ИДС БИНГ-2 представлена на рис. 4.

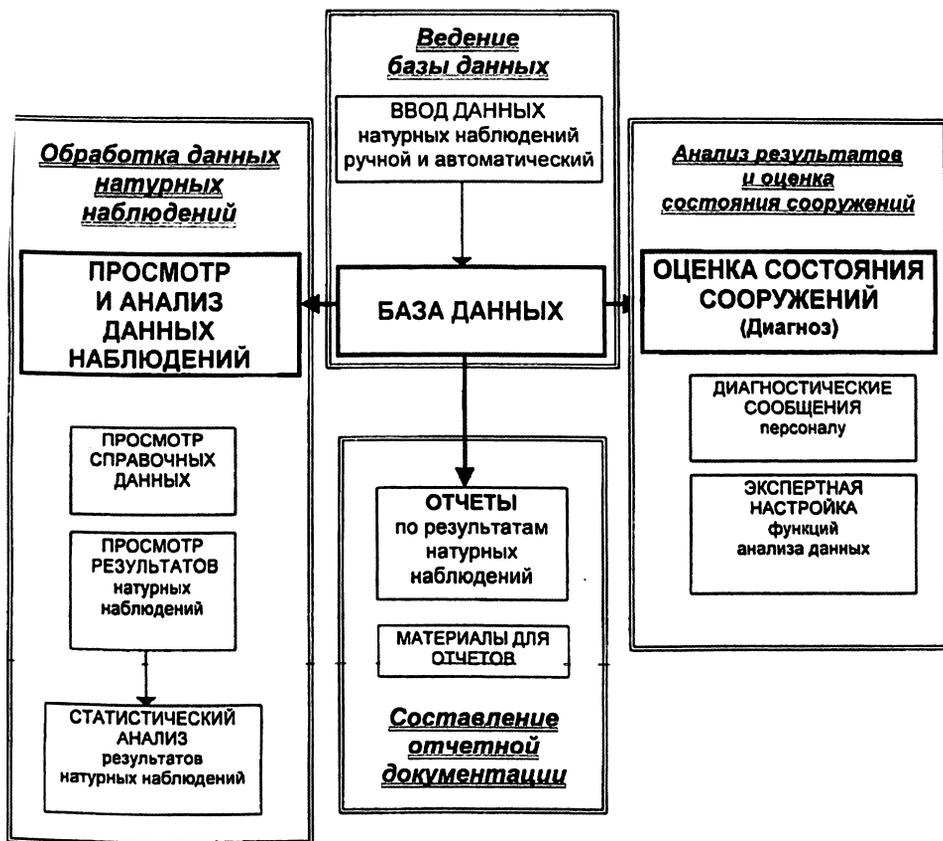


Рис.4. Функциональная схема ИДС

Функциональные возможности системы могут быть реализованы в различной степени в зависимости от конкретных условий (рис. 5). Это может быть:

быстрый просмотр таблиц и графиков показаний измерительных устройств ИУ за весь период наблюдений;

отбор ИУ и показателей состояния, в том числе на чертежах, для просмотра их значений в табличной или графической форме за указываемый пользователем период времени;

отбор по признакам и просмотр записей и зарисовок в журналах визуальных наблюдений;

просмотр местоположения и параметров выявленных дефектов;
 построение эпюр показаний ИУ или значений показателей состояния;
 построение изогипс показаний ИУ или показателей состояния;
 построение рельефа дна по данным замеров глубины с определением формы и объемов намывов или размывов;
 составление отчетов.
 Данные могут преобразовываться в форматы, используемые в Интернете.

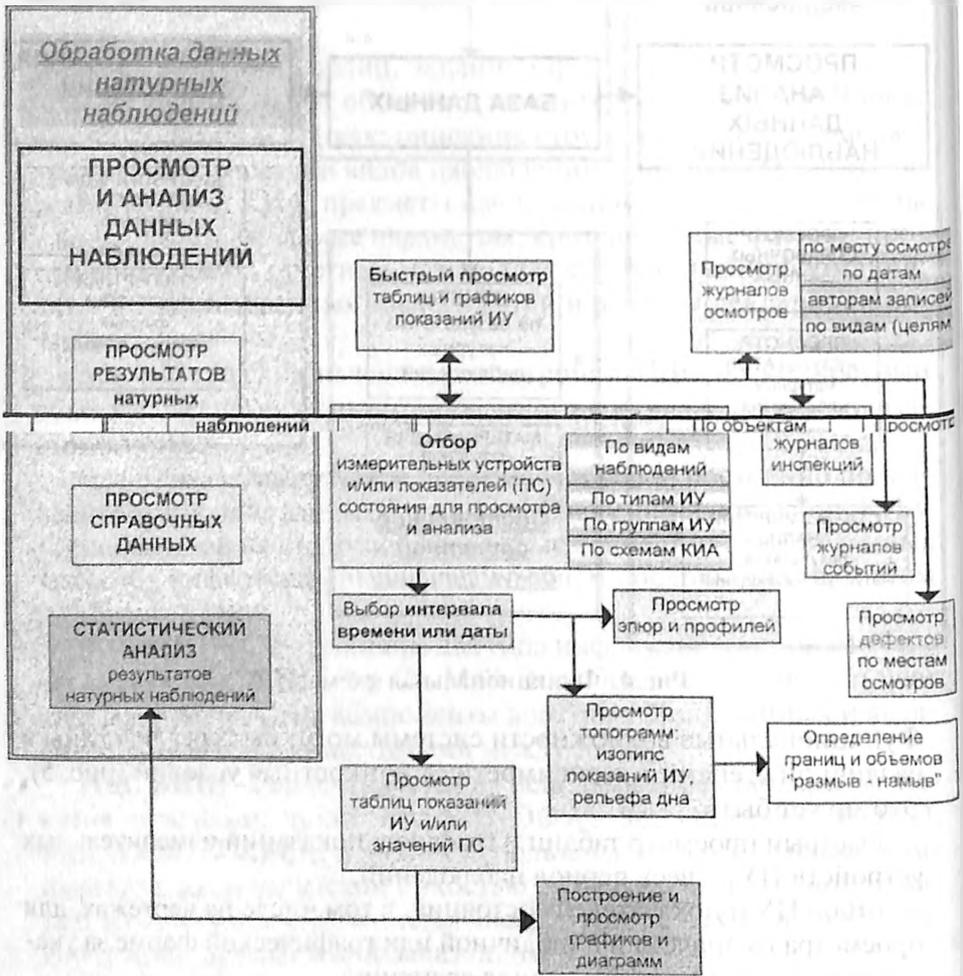


Рис. 5. Блок обработки данных на БИНГ-2

Функции анализа результатов и оценки состояния сооружений ИДС БИНГ-2 представлены на рис. 6.

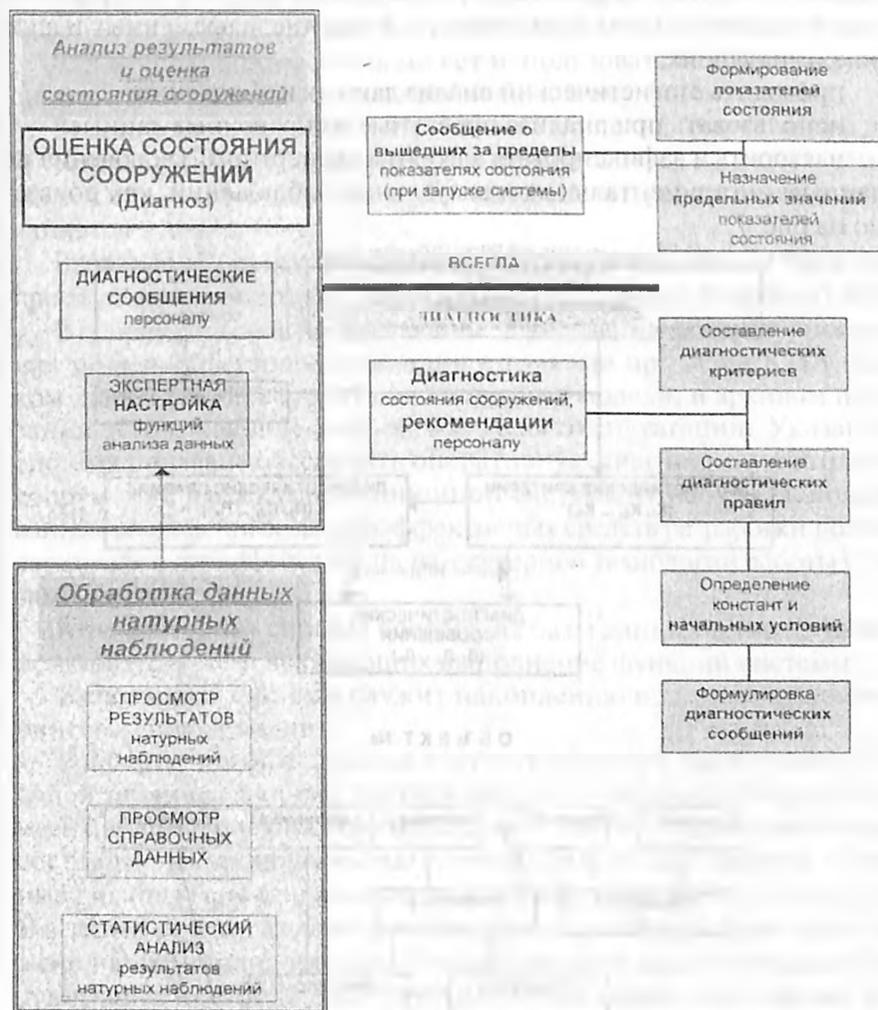


Рис.6. Блок-схема диагностики БИНГ-2

Пользователю система представляет возможности:

формирования показателей состояния, являющихся, по мнению экспертов, индикаторами безопасности сооружения, в том числе данных визуальных наблюдений. Для формирования показате-

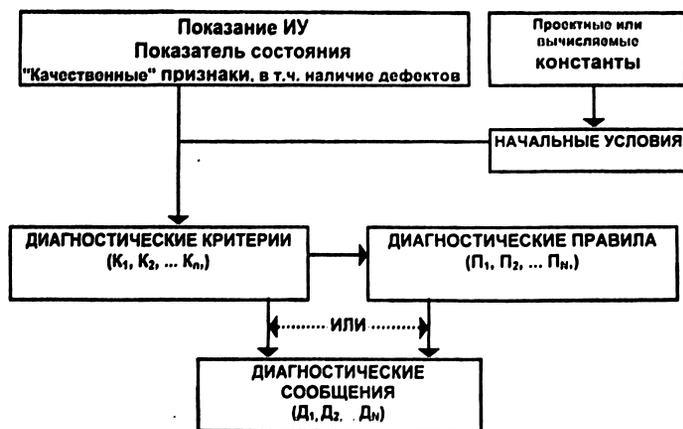
телей в системе имеется библиотека функций, дающих широкие возможности для их формирования;

назначения экспертами контрольных значений предельных состояний нескольких уровней, причем с возможностью использования функциональных зависимостей, в том числе временных и аппроксимирующих;

проводить статистический анализ данных наблюдений;

использовать при анализе проектные и справочные данные;

настроить и зафиксировать алгоритм экспертного заключения по данным инструментальных и визуальных наблюдений, как показано на рис. 7.



ОБЪЕКТ №...

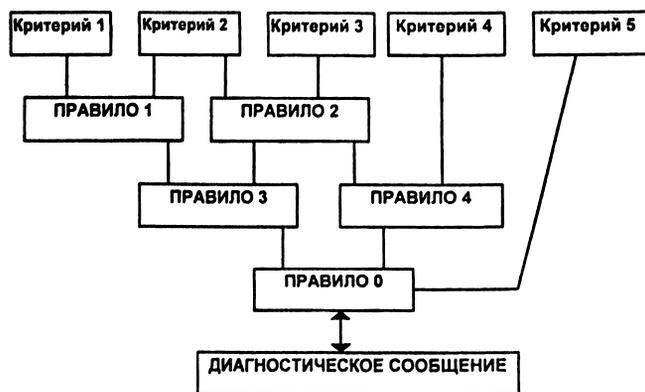


Рис.7. Схема настройки блока «Диагностика» информационно-диагностической системы БИНГ-2

В автоматическом режиме система выдает список показателей состояния, вышедших за установленные пределы, и информацию о них и диагноз (оценки состояния + рекомендации) по сооружениям и гидроузлу в целом на указываемые пользователем даты, определяемые настройкой алгоритма экспертом.

Для отчетов пользователь может использовать любые экранные системы или заказать отчет в необходимой ему форме.

Более подробно с ИДС БИНГ-2 можно познакомиться при демонстрации системы, которая будет производиться на нашем семинаре. Сейчас система установлена на компьютеры, которые располагаются в холле.

Вторая ИДС, разработанная в институте, — **система Си Мон Экс**, проходит в настоящее время опытную эксплуатацию на Загорской ГАЭС.

В основу системы была заложена двухуровневая структурированная модель объектов наблюдения с точками привязки КИА, банком данных, необходимых для настройки модели, и архивом показаний КИА, накопленных за все годы эксплуатации. Указанная система призвана обеспечить оперативную диагностику состояния сооружений в рамках операционной системы Windows с использованием современных высокоэффективных средств разработки пользовательского интерфейса и клиент-серверной технологии работы с базами данных.

Компьютерная система состоит из базы данных и интерфейсов пользователя, обеспечивающих выполнение функций системы.

База данных системы служит накоплению и хранению мониторинговой информации.

Информация базы данных структурируется в связанные между собой таблицы. Данные, расположенные в таблицах базы данных, идентифицируются полями и записями. На рис. 8 приведена схема, состоящая из прямоугольников, которыми представляются основные таблицы базы данных мониторинга сооружений Загорской ГАЭС. В верхней строке каждого прямоугольника на темном фоне расположено наименование таблицы. На светлом фоне прямоугольника следуют наименования полей таблицы, отражающие содержание храняемой в них информации. Линиями, соединяющими таблицы друг с другом, показаны связи между полями таблиц.

Основной информации базы данных являются результаты наблюдений, которые идентифицируются измерительным устройством. Измерительное устройство определяет вектор численных или текстовых значений, полученных с помощью соответствующего средства наблюдения или измерения.

О функциональных возможностях системы можно судить по составу информации таблиц, приведенных на рисунке.

Функции системы реализуются с помощью дружественного интерфейса, позволяющего пользоваться современными средствами операционной системы Windows (мышь, меню, клавиши быстрого доступа и т.д.).

Система содержит интерфейс ручного ввода данных измерений и возможности включения автоматизированного ввода показаний. Одно из окон, характеризующих интерфейс ручного ввода данных наблюдений, показано на рис.9. Появляется возможность просмотра

Идентификатор	Наименование	Единица измерения	Нормативное значение	Фактическое значение	Предел	Статус
320203		нкс	775.00	1022.00		КПа
320202		нкс	794.00	1056.00		КПа
3501		нкс	538.75	960.17		С
320103		нкс	772.00	1013.00		КПа
320101	Земит	нкс	779.00	1015.00		КПа
320201	Сухой	нкс	779.00	1030.00		КПа
320102	Замёрз	нкс	767.00	1011.00		КПа
320703	Поврежден	нкс	772.00	1020.00		КПа
321001	Плывёт	нкс	774.00	1020.00		КПа
320301		нкс	772.00	1012.00		КПа
3502		нкс	532.22	924.02		С
320702		нкс	770.00	1022.00		КПа
320801		нкс	772.00	1021.00		КПа
320701		нкс	775.00	1012.00		КПа
321003		нкс	770.00	1014.00		КПа
321103		нкс	774.00	1016.00		КПа
320403		нкс	770.00	1016.00		КПа
320502		нкс	771.00	1017.00		КПа
320601		нкс	772.00	1014.00		КПа
320401		нкс	772.00	1014.00		КПа

Рис.9. Панель ввода показаний одной из групп ИУ Загорской ГАЭС.

показания любого из измерительных устройств, корректировки ошибочно введенных отсчетов с помощью панели и ряд других функций (рис. 10). Также реализуется возможность хранения и воспроизведения временных графиков измеренных величин, определения значений вектора опосредованных измерений, т.е. результатов вычисления по формулам, являющимся функцией результатов измерений, которые хранятся в базе данных (рис. 11).

Существует в системе и возможность диагностирования сооружений гидроузла. В ней хранятся ПДЗ показателей состояния сооружений, которые могут быть представлены либо постоянными вели-

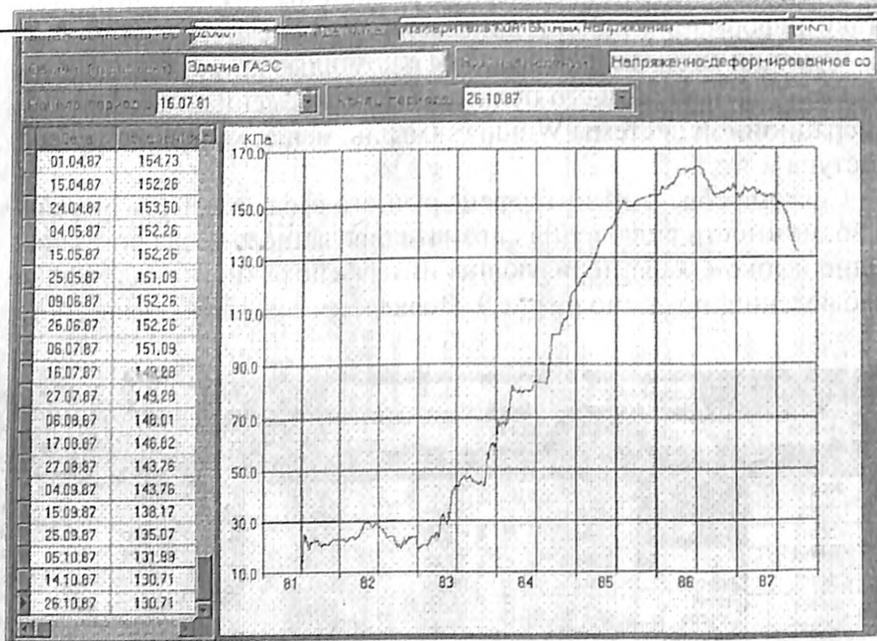


Рис. 10. Просмотр показаний одного из ИУ.

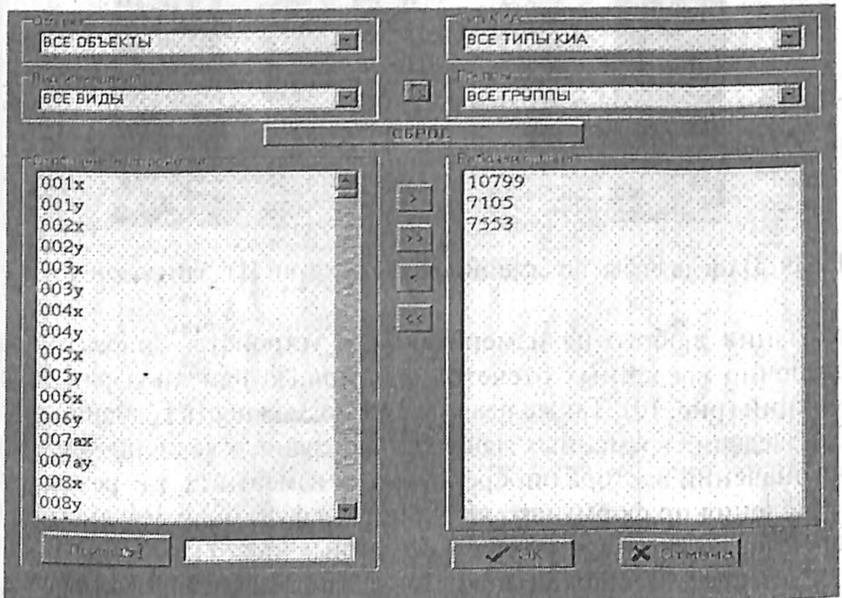


Рис. 11. Панель отбора произвольной группы из списка ИУ.

чинами, либо прогнозными функциями, фиксируются аномальные события в поведении сооружений, т.е. случаи выхода измеренных значений показателя за установленные пределы.

На рис. 12 показана возможность поиска и отбора информации и их реализация. Также можно проводить отбор измерительных устройств по объектам, видам наблюдений, типам устройств, группам ввода. Так, на рис. 13 приведен пример представления показаний отобранного измерительного устройства в табличной форме.

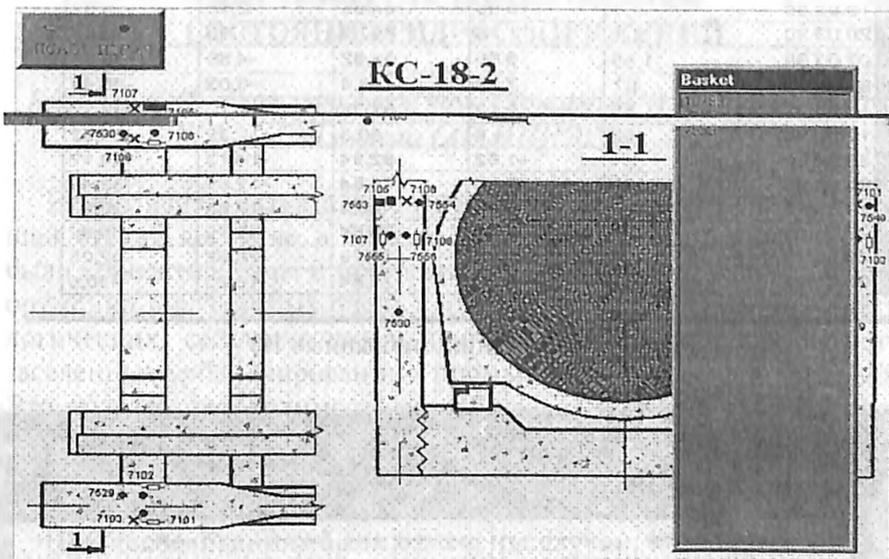


Рис. 12. Панель отбора произвольной группы ИУ с использованием одного из рисунков-схем размещения.

Существует также возможность представления данных в графической форме (рис. 14).

Более подробно с системой Си Мон Экс можно познакомиться на демонстрации, в холле нашего семинара.

Таким образом, имеющиеся сейчас в распоряжении организаций-разработчиков компьютерные системы контроля состояния гидротехнических сооружений электростанций позволяют осуществить оснащение всех крупных электростанций РАО «ЕЭС России» современными системами мониторинга, как и намечено решением НТС РАО «ЕЭС России».

Дата	ИУ1 (МПа)	ИУ2 (МПа)	ИУ3 (МПа)	ИУ4 (МПа)	ИУ5 (МПа)
08.01.90	.03	12.03	72.25	-1.18	-39.03
16.01.90	2.46	2.62	153.89	-1.44	-39.68
22.01.90	.44	12.03	76.78	-1.44	-38.42
29.01.90	.68	13.75	85.98	-.28	-37.15
06.02.90	.68	12.66	86.72	-.71	-37.15
12.02.90	.68	12.03	85.43	-1.18	-36.92
20.02.90	.68	10.96	82.37	-2.16	-37.34
27.02.90	1.1	12.23	88.57	-1.18	-36.09
06.03.90	.68	10.74	82.37	-1.95	-37.15
13.03.90	1.1	10.96	84.95	-2.16	-36.92
20.03.90	1.1	11.16	89.07	-1.95	-35.86
27.03.90	1.55	9.65	89.82	-4.59	-35.65
03.04.90	1.1	7.33	84.4	-6.03	-35.86
11.04.90	.68	3.12	81.36	-10.12	-35.86
17.04.90	.68	-8	80.3	-12.22	-34.82
24.04.90	1.1	-1.62	82.84	-14.13	-34.17
08.05.90	.68	-7.53	79.54	-17.85	-32.46
16.05.90	.68	-6.72	80.3	-17.85	-30.92
22.05.90	.23	-7.92	79.54	-18.79	-30.92
29.05.90	-.21	-10.92	77.75	-20.62	-32.25
05.06.90	.03	-8.92	79.54	-19.23	-30.5

Рис. 13. Показания отобранных ИУ.

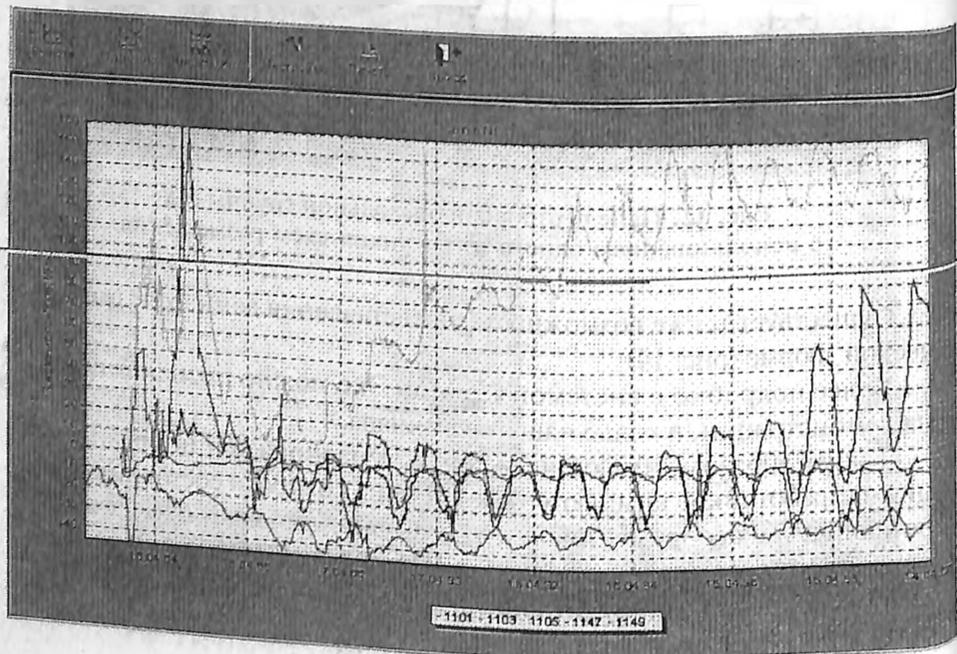


Рис. 14. График показаний отобранных ИУ

На этом НТС также было отмечено, что представляется необходимым приступить к разработке компьютерных систем диагностики оборудования гидросооружений, от работоспособности которого зависит безопасность гидросооружений (затворов, водопропускных сооружений, подъемного оборудования и самих гидроагрегатов ГЭС).

Наш институт начинает сейчас работу по разработке такой системы.

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ

*Бритвин С.О., кандидат техн. наук, Коновалов И.К., Блинов И.Ф.,
инженеры (АО НИИЭС)*

Наибольшего размаха гидроэнергетическое строительство в нашей стране достигло в 1960 и последующие годы. В эти годы были спроектированы и построены крупные гидротехнические сооружения в различных очень сложных геологических, гидрогеологических, сейсмических и других условиях, а также в густо заселенных урбанизированных промышленно развитых регионах. Это вызвало необходимость разработки новых еще не апробированных проектных решений, использование новых технологий при строительстве и современных методов экспериментальных исследований сооружений.

При исследованиях были отмечены случаи, когда реальное состояние сооружение или его элементов заметно отличается от расчетного и оптимального, что приводит либо к неоправданно завышенным коэффициентам запаса прочности, либо к тяжелым инцидентам или авариям, приводящим к значительным человеческим жертвам.

По этой причине в гидроэнергетическом строительстве нельзя просто «учиться на ошибках», приводящих к катастрофе, поэтому широкое развитие получило диагностирование состояния сооружений.

Основа диагностирования — это натурные исследования состояния гидросооружений, которые, с одной стороны, дают возможность оценивать и исправлять принятые при проектировании расчетные модели и методы, а с другой, в случае выявления процессов, угрожающих безопасной эксплуатации сооружений, принять необходимые меры к их устранению. Источниками получения необходи-

мой информации при исследованиях сооружений являются визуальной осмотр и технические средства и методы инструментальной оценки состояния гидросооружений, включающие:

контрольно-измерительную аппаратуру КИА, которой оснащаются гидросооружения I—III классов;

измерительные приборы для регистрации измерительной информации от КИА;

средства автоматизированного сбора измерительной информации.

В состав современной КИА входит значительное количество датчиков, приборов и устройств. Вся КИА можно условно разделить на сравнительно простую установочную и более сложную закладную дистанционную.

Установочная КИА — это в основном различного рода геодезические марки, репера, створные знаки, водомерные рейки, мерные водосливы, пьезометры и тому подобное.

Дистанционная КИА — это закладные датчики, преобразующие входную физическую величину в выходной электрический сигнал и измерительные приборы для их регистрации.

Принцип действия, функциональные характеристики и номенклатура современной дистанционной КИА, изготавливаемой ведущими индустриальными странами и предназначенной для инструментальной оценки состояния гидросооружений, отличается большим разнообразием.

Находят применение аналоговые преобразователи входной физической величины в выходной электрический сигнал, например резистивные, пневматические, индуктивные, магнитоупругие и другие, а также частотные преобразователи, например, струнные, LC -генераторы, индукционные, емкостные и другие. Функциональные характеристики современной КИА позволяют широко использовать средства автоматизированного сбора информации, составляющие основу современных систем мониторинга оценки состояния гидросооружений. Номенклатура современной КИА позволяет контролировать практически все основные физические параметры состояния гидросооружений.

Анализ современной дистанционной КИА, изготавливаемой фирмами таких индустриально развитых стран, как США, Франция, Германия, Япония и другие, показывает, что в практике натурных исследований состояния гидросооружений в основном находят применение датчики с частотным выходным сигналом и в первую очередь со струнным резонатором.

Это обусловлено рядом преимуществ струнных датчиков перед другими.

Во-первых, очень высокой стабильностью метрологических характеристик датчиков. Наши исследования метрологической надежности струнных датчиков показывают, что они могут сохранять заданные метрологические характеристики в течении 20 и более лет эксплуатации.

Во-вторых, высокой эксплуатационной надежностью, так как установка их на место производится зачастую в рабочих условиях строительной площадки.

В-третьих, струнные датчики с частотным выходным сигналом обладают большой помехозащищенностью в условиях воздействия внешних мощных электромагнитных полей.

В-четвертых, использование струнного резонатора позволяет унифицировать основные преобразовательные элементы струнных датчиков и параметры выходного информативного сигнала.

Принцип работы струнных датчиков основан на преобразовании входной измеряемой физической величины в изменение поперечной жесткости струнного резонатора и, как следствие этого, в изменение частоты его собственных колебаний, преобразуемых в частотно-модулированный выходной информативный сигнал.

Градуировочные характеристики отечественных струнных датчиков аппроксимируются уравнением второй степени.

Основным преобразовательным элементом струнных датчиков является унифицированный резонатор с электромагнитной системой возбуждения затухающих колебаний струны. Эта конструкция позволяет получить унифицированный выходной сигнал в виде затухающих колебаний ЭДС со следующими параметрами:

рабочий диапазон периодов, мкс 450 ... 1250;

минимальная амплитуда выходного сигнала, измеренная в интервале времени между 100 и 200 периодами после импульса запроса, при длине линии связи до 1 км, ... 5 мВ.

Познакомимся поближе с отечественными струнными датчиками. Выпускаемые в нашей стране струнные датчики обеспечивают инструментальный контроль всех основных физических величин, определяющих состояние гидросооружений и в первую очередь:

линейные и угловые перемещения;

параметры фильтрационных потоков;

компоненты напряженно-деформированного состояния сооружений.

Отечественные струнные датчики работают совместно со специализированным портативным периодомером типа ПЦП-1 или ПЦС,

а также в составе информационных систем мониторинга состояния сооружений с многоканальным программируемым терминалом типа МПТ.

Более подробно номенклатура современных отечественных датчиков представлена в таблице.

Анализ современного рынка, предлагающего технические средства для инструментальной оценки состояния гидросооружений показывает, что многие индустриально развитые страны изготавливают их в значительном количестве и широкой номенклатуры. Среди фирм-производителей этих технических средств наиболее авторитетны следующие: Telemac (Франция), Maihak (Германия), Rostest, Sinko и Geokon (Америка), Geonog (Норвегия), Kuowa (Япония) и др.

Нами были изучены каталоги вышеуказанных фирм-изготовителей и сделано сравнение технического уровня зарубежной КИА с аналогичной отечественной. Сравнение КИА, изготавливаемой зарубежными фирмами, показывает, что принципы действия и основные технические характеристики КИА, изготавливаемой этими фирмами, в основном идентичны. Причем наиболее широкий ассортимент КИА предлагает фирма «Telemac» (Франция), и это не случайно, т.к. эта фирма одна из старейших в мире по изготовлению КИА. Она присутствует на рынке с середины 20-х годов нашего века и является своеобразным «законодателем мод» в области разработки, изготовления и применения КИА для оценки состояния крупных инженерных сооружений. Поэтому представляет интерес сравнение продукции «Telemac» с отечественной. Следует сказать, что номенклатура КИА, изготавливаемой «Telemac», и отечественной в основном идентичны. Естественно, есть и различия. Отмечу основные из них.

Первое отличие. Фирма «Telemac» предлагает малогабаритные инклинометрические измерительные торпеды и необходимые для ее использования аксессуары. Эти инклинометры предназначены для контроля внутренних зон тела грунтовых плотин как в строительный, так и эксплуатационный период. В России аналогичных инклинометров не производят.

Однако отечественные производители КИА предлагают датчики силы арматурные типа ПСАС, зарубежные фирмы, в том числе «Telemac», их не изготавливают.

Второе отличие. Фирма «Telemac» изготавливает датчики не только частотные со струнным резонатором, но и другие. Например, для измерения линейных перемещений используют датчики «так называемые дистофор» с LC-генератором. Для измерения гидростати-

Таблица

Контролируемые величины	Назначение	Тип	Диапазон измерений
Линейные и угловые перемещения	Измерение взаимных смещений конструктивных элементов сооружений	ПЛПС ПЛПС-С	0...10мм 0...320мм
	Измерение пространственных перемещений конструктивных элементов сооружений	ПЛКПП	0,4...40,0мм
	Измерение отклонений от вертикали прямыми и обратными отвесами	ПЛПСК	0...10мм
	Измерение осадок сооружений в системе гидростатического нивелирования	ПУЖС-М	0...500мм
	Измерение изменений углов наклона конструкций сооружений	ПУНС	0...40град
Параметры фильтрации	Измерение гидростатического давления в конструкциях и основании сооружений	ПДС	0...1,0Мпа
	Измерение порового давления в конструкциях и основании сооружений	ПДСП	0...1,0Мпа
	Прецизионное измерение гидростатического давления	ПДСП-П	0...0,2Мпа
	Измерение температуры в фильтрационных потоках в сооружениях и их основаниях	ПТС-П	-1...+19°
Компоненты напряженно-деформированного состояния	Измерения растягивающих усилий в арматуре железобетонных конструкций	ПСАС	0...320кН
	Измерения растягивающих и сжимающих усилий в арматуре железобетонных конструкций	ПСАС-М	-200...+400кН
	Измерение силы натяжения арматурного пучка в преднапряженных строительных конструкциях	ИПС	0...1,6МН
	Измерение нормальных компонентов тензора напряжений в грунте	ПНГС	0...3Мпа
	Измерение нормальных напряжений в каменной наброске	ПНКН	0...6,4 па
	Измерение линейных компонентов тензора деформаций в бетоне и на поверхности металло-конструкций и бетона	ПЛДС	-2000...+2000млн ⁻¹
	Измерение температуры в конструктивных элементах сооружений	ПТС	-2...+60

ческого давления — тензорезистивные и пневматические. Для измерения отклонения нити прямых и обратных отвесов — индукционные датчики. Изготавливают очень удобные переносные мерные водосливы для измерения расходов сосредоточенных источников фильтрации.

Третье отличие. Фирма изготавливает и поставляет по требованию Заказчика все аксессуары необходимые для установки датчика на месте и монтажа линии связи.

Сравнение метрологических и технических характеристик датчиков «Telemac» и отечественных несколько затруднительно, т.к. в каталоге этой фирмы указаны в основном их чувствительность и иногда значения дрейфа нулевого отсчета во времени. В наших датчиках нормирована основная погрешность на весь срок службы, а именно 14...15 лет. Поэтому человеку непосвященному представляется, что погрешность зарубежных датчиков в два или три раза меньше. Но это будет только в том случае, если датчики можно поверять в установленные сроки, что по понятным причинам зачастую абсолютно невозможно. При этом в каталогах зарубежных фирм не указан средний срок службы дистанционной КИА, а в наших он нормирован.

По параметрам выходных сигналов имеется принципиальное отличие струнной КИА зарубежных фирм и отечественных. Так, в зарубежных струнных датчиках для возбуждения колебаний струны и измерения выходного сигнала в виде ЭДС использована электромагнитная система с обратной связью, поэтому струна колеблется в непрерывном, так называемом автогенераторном режиме, а в отечественных использована электромагнитная система возбуждения колебаний, но без обратной связи, поэтому струна колеблется в свободно затухающем режиме. У каждого способа колебаний есть свои плюсы и минусы, я не буду подробно останавливаться на этом. Скажу только, что отечественные струнные датчики, по этой причине, несовместимы с измерительной аппаратурой «Telemac» и наоборот, датчики «Telemac» несовместимы с нашими измерительными приборами.

Еще одно существенное отличие зарубежных фирм от отечественных: зарубежные фирмы поставляют не отдельные датчики, а измерительные комплекты, включающие датчики с экранированным кабелем в полиэтиленовой оболочке мерной длины, аксессуары для установки и вторичный измерительный прибор или компьютер в зависимости от воли Заказчика. От такой поставки выгадывает и фирма, и Заказчик, т.к. фирма гарантирует качество линии связи, а Заказчик получает очень надежный измерительный комплект при установке датчика на месте.

Несколько слов о стоимости дистанционной КИА фирмы «Telemas» и отечественной КИА.

Изучение прайс-листов фирмы «Telemas» показывает, что в настоящее время стоимость одного струнного датчика колеблется от 300 до 500 долларов США, стоимость наших датчиков колеблется от 100 до 200 долларов США. При этом следует учесть, что стоимость датчика в полиэтиленовой оболочке, входящего в комплект поставки, на порядок дороже наших кабелей в резиновой оболочке.

В заключение несколько слов о возможностях изготовления отечественной КИА.

Позволю себе небольшую историческую справку. Начало изготовления КИА для строящихся гидросооружений было положено в 50-е годы в НИСе. Количество изготавливаемых датчиков не превышало 1200...1300 штук в год. В 1975 году было организовано промышленное производство КИА в Днепропетровске, к 1990 году количество изготавливаемой КИА достигало 6...7 тысяч в год. Начиная с 1991 года резко упала потребность в КИА, и завод в Днепропетровске был репрофилирован. Изготовление КИА взяло на себя выделившееся из состава НИСа АО «ДИГЭС» - дочернее предприятие РАО «ЕЭС России». Возможности ДИГЭС не превышали 200...300 датчиков в год. В 1998 году правление РАО «ЕЭС России» приняло решение о присоединении АО «ДИГЭС» к АО «НИИЭС». Этот процесс к настоящему времени не завершен. Следует отметить, что техническая база АО «ДИГЭС» физически и морально устарела, т.к. станочное оборудование не заменялось с 60-х годов, образцовые средства измерений пришли в негодность, сами датчики нуждаются в существенной переработке, для того чтобы могли выйти на международный рынок.

Инвестирование денежных средств для модернизации технической базы НИИЭС предусмотрено ОНТП «Безопасность энергетических сооружений». Актуальность этой проблемы отмечена во многих высоких совещаниях и конференциях. К сожалению, вопрос окончательно еще не решен. Представляется целесообразным принять соответствующее решение и на нынешнем семинаре. Например, в такой редакции: «Рассмотреть вопрос о выделении средств на формирование отраслевого центра промышленного производства технических средств диагностирования сооружений, созданного в соответствии с приказом РАО «ЕЭС России» от 14.06.2000 г. 342, на основе производственно-экспериментальной базы АО «НИИЭС».

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

*Савич А.И., доктор физ.-мат. наук (ЦСГНЭО — филиал
АО «Институт Гидропроект»), Семёнов И.В., кандидат техн.
наук (АО НИИЭС), Храпков А.А., доктор техн. наук
(ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)*

Согласно мировой статистике значительная часть аварий энергетических объектов связана с геодинамическими, в том числе и сейсмическими процессами и явлениями как природного, так и техногенного характера. Общее представление о видах «геодинамической опасности» для энергетических объектов можно получить на основании таблицы 1.

В верхней части этой таблицы представлены природные геодинамические процессы: тектоническое деформирование коры, флюидодинамические процессы, гравитационные, гидрогеологические, карстовые и суффозионные процессы. В нижней части таблицы перечислены техногенные и техногенно-индуцированные процессы: разгрузка массивов в ходе строительных работ; пригрузка массива сооружением; деформационные и фильтрационные процессы, связанные с эксплуатацией крупных водохранилищ; деформационные процессы, обусловленные изменением передаваемых на массив нагрузок от энергетических сооружений.

Имеющийся опыт эксплуатации объектов, расположенных в геодинамически активных районах, свидетельствует, что в результате перечисленных геодинамических, в том числе сейсмических процессов могут происходить разрушения или серьёзные повреждения напорных гидротехнических сооружений, разрушения или повреждения ГЭС, ТЭС, ГАЭС и других электростанций, повреждения или выход из строя электротехнического оборудования, повреждения или разрушения ОРУ и подстанций, повреждения линий электропередач. В настоящее время вышел ряд нормативных документов (Госстандартов, СНиПов и др.), регламентирующих учёт указанных геодинамических процессов и явлений при строительстве и эксплуатации различных ответственных сооружений.

Наиболее опасными из указанных процессов являются сейсмические. Только за последние 40 лет в результате сейсмических воздействий серьёзные аварии и повреждения испытали бетонные плотины Понтеба, Каньон Дель Пато, Синьфынцзян, Койна,

Геодинамические процессы на участке высоких плотин

№	Ведущий процесс	Форма проявления	Виды опасности для высоких плотин
ПРИРОДНЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ			
1.	Тектоническое деформирование земной коры.	Региональные и локальные тектонические деформации. Современное движение земной поверхности. Дифференцированные подвижки по разломам, обрушения, обвалы, оползни. Изменение напряженно-деформированного состояния массивов. Землетрясения.	Деформации оснований сооружений, изменение "проектных" параметров геологической среды. Динамические нагрузки на сооружение.
2.	Флюидодинамические процессы.	Гидродинамические деформации горных пород в зонах проникаемых разломов. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности.	Образование зон повышенной деформируемости и проницаемости.
3.	Гравитационные процессы.	Обвалы, оползни, просадки.	Деформации дневной поверхности, повреждение коммуникаций и сооружений.
4.	Гидрологические и карстово-суффозионные процессы.	Размывы, образование пустот, карст, суффозия, заиление.	Изменение инженерно-геологических и гидрогеологических условий
5.	Криогенные процессы.	Оттаивание, термокарст, пучение.	Деформации оснований сооружений.
ТЕХНОГЕННЫЕ И ТЕХНОГЕННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ			
6.	"Разгрузка" массива в ходе строительных работ	Разуплотнение массива, раскрытие трещин.	Изменение физико-механических свойств массива.
7.	"Пригрузка" массива сооружением	Обжатие массива, закрытие трещин.	Деформации дневной поверхности.
8.	Деформационные и фильтрационные процессы, связанные с созданием и эксплуатацией водохранилищ.	Деформации (прогибы и положительные деформации) верхних частей земной коры. Разуплотнение массива в результате гидростатического взвешивания, гидродинамические и суффозионные явления; "плотинные землетрясения".	Изменение физико-механических свойств основания, повышение водопроницаемости массива, деформации поверхностных и внутренних частей массива.
9.	Деформационные процессы, обусловленные изменением НДС массива при эксплуатации сооружения	Переменные во времени деформации массива, развитие зон повышенной трещиноватости и "перенапряженных" участков массива.	Изменение свойств и состояния основания и примыканий высоких плотин.

Сефидруд и другие, а также значительное количество грунтовых плотин (Хебген, Сан-Фернандо Лоуэр, Лос-Анджелес, Эль-Инфирнильо, Сёрджё и др.).

В докладе В.И. Бронштейна рассмотрены основные типы разрушений, которые испытывают гидротехнические сооружения вследствие землетрясений. Серьёзные инциденты в различных странах на территории СССР, вызванные землетрясениями и другими геодинамическими явлениями, имели место не только на гидротехнических сооружениях, но и на ТЭС, ТЭЦ, подстанциях ОРУ и линиях электропередач.

Последствия сильных землетрясений последних лет: Каракумского в 1985 г., Румынского в 1986 г., Спитакского в 1988 г. и других, показали, что проблема сейсмостойкости энергообъектов с экономической точки зрения не может быть сведена только к обеспечению сейсмостойкости крупных электростанций, представляющих наибольшую потенциальную опасность. Эта проблема является комплексной и включает в себя также вопросы, связанные с безаварийной работой при землетрясениях и других источников электроэнергии, надёжностью энергетического и гидротехнического оборудования, подстанций, линий электропередач и др. Последнее особенно отчётливо проявилось в нашей стране во время Спитакского землетрясения, когда значительный ущерб экономики Армении был связан с прекращением подачи в районы стихийного бедствия электроэнергии из-за повреждения подстанций ОРУ и линий электропередач. При этом коммунальное и энергетическое хозяйство городов Спитак и Ленинакан, где интенсивность сейсмических воздействий достигала 8—9 баллов, было полностью выведено из строя: разрушено 40 трансформаторных подстанций г. Ленинакана; 115 подстанций из 319 получили повреждения различной степени тяжести; разрушено полностью 1300 км и частично 930 км воздушных кабельных линий передач; вышла из строя система энергоснабжения аэропорта. В г. Степанакерте разрушены все электростанции.

Аналогичные явления отмечались и в других странах мира, в частности в Румынии, США, Японии, Турции, Китае. Так, в США в результате землетрясения 17 октября 1989 г. в Калифорнии были разрушены коммунальные энергетические системы трёх районов, из-за перебоев в электроэнергии вышло из строя современное компьютерное оборудование на базе ВВС США в Силиконовой долине. Ущерб, который понесла энергетика от этого землетрясения, составил 8—10 млн. дол. США. Потери от невыпуска продукции различных предприятий оценивается величиной 30—40 млрд. руб. На Тай-

ване в результате землетрясения 21 сентября 1999 г., вызвавшего сейсмические колебания на большей части острова с ускорением до 0,15 g, хотя и не были выведены из строя основные источники электроэнергии АЭС Чиншань и Куашень, вследствие разрушения подстанций и сетей была прекращена подача энергии. Это привело к остановке практически всех технологических предприятий острова, являющихся важным звеном мировой цепи компьютерной промышленности. Потери от остановки производства достигали 50–100 млн. дол. США ежедневно, а общий экономический ущерб непосредственно от прекращения работы различных предприятий оценивается в 5–10 млрд. дол. США. При более интенсивных сейсмических воздействиях указанные потери были бы существенно большими, и это могло отразиться на компьютерном производстве во всём мире.

Приведённые примеры, наглядно иллюстрируя зависимость общих экономических потерь при землетрясениях и других динамических явлениях в каком-либо регионе от сейсмостойкости и геодинамической безопасности расположенных в их пределах энергообъектов и их оборудования, доказывают необходимость учёта при оценке геодинамического риска не только возможных повреждений энергообъектов, но и нарушения инфраструктуры в целом.

Установлено, что разрушение и повреждение энергообъектов происходит из-за их недостаточной геодинамической безопасности и сейсмостойкости, которые в свою очередь вызываются: ненадёжными прогнозами параметров ожидаемых геодинамических и сейсмических событий; недоучётом особенностей грунтовых условий в основании сооружений и ошибками в оценке реальных свойств объектов; несовершенством используемых методов расчёта сейсмостойкости и геодинамической безопасности различных сооружений и опор линий электропередач; строительными дефектами и старением сооружений; использованием несейсмостойкого энергетического и гидротехнического оборудования.

Работа по преодолению перечисленных недостатков ведётся в различных странах мира, имеющих области повышенной геодинамической активности. Планомерная работа в этом направлении проводилась в Советском Союзе; ведётся она в России и в настоящее время. При этом учитывается то, что, как показали сейсмические события, происшедшие за последние 10 лет, существовавшая карта общего сейсмического районирования нашей страны — ОСР 78 — обладала большими недостатками. На рис. 1 показаны крупные сейсмические события на территории СССР, которые произошли в районах, ранее относившихся к областям со значительно более слабой

сейсмичностью. Судя по этой карте ряд сильных 9-балльных землетрясений произошёл в 5–7-балльных зонах. Например, Сахалинское 9-балльное землетрясение произошло в 6-балльной зоне, Спитакское, Рачинское, Рязанское 9-балльные землетрясения — в 7-балльных зонах.

В настоящее время с учетом новейших сейсмических и сейсмотектонических данных составлена новая карта общего сейсмического районирования России — Карта сейсмического районирования (СР)—97, которая утверждена Академией Наук и Госстроем России.

О характере происшедших при этом изменениях в уровне фоновой сейсмичности можно судить по рисункам 2 и 3. На рис. 2 приведены 2 схемы сейсмического районирования о. Сахалин: одна из них соответствует карте ОСР—78, другая — карте СР— 97—В. На рис. 3 приведены аналогичные данные для Кавказа. Сопоставление старых исходных данных с новой картой сейсмического районирования свидетельствует, что значительная часть крупных энергообъектов России расположена в зонах с более высоким уровнем сейсмической опасности, чем это принималось при их проектировании и строительстве. Для многих энергообъектов уровень общей сейсмичности районов их расположения изменился на 2, а в некоторых случаях и на 3 балла. Из приведенной на цветной вкладке карты сейсмического районирования видно, что значительная часть энергообъектов России расположена в зонах с высокой сейсмической активностью, характеризующихся возможными максимальными по силе землетрясениями интенсивностью 9–10 баллов.

Очевидно, для оценки безопасности энергообъектов необходимо: уточнить сейсмические условия участков их расположения; выявить соответствие реальных свойств состояния объектов параметрам, принятым при проектировании; выполнить комплекс исследований - расчетных, модельных, натурных — по изучению работы основных сооружений при землетрясении с учетом их современного состояния. Для последующей безаварийной эксплуатации объектов, имеющих дефицит сейсмостойкости и геодинамической безопасности, необходимы разработка и реализация комплекса специальных инженерных мероприятий.

Признавая остроту и актуальность рассматриваемой проблемы, Совет Министров России, а также Правительство РФ и РАО «ЕЭС России» неоднократно принимали решения, направленные на обеспечение сейсмостойкости и геодинамической безопасности энергообъектов.

Так, в 1993–94 г.г. вышел ряд важных Постановлений Правительства РФ, направленных на совершенствование работ по обеспе-

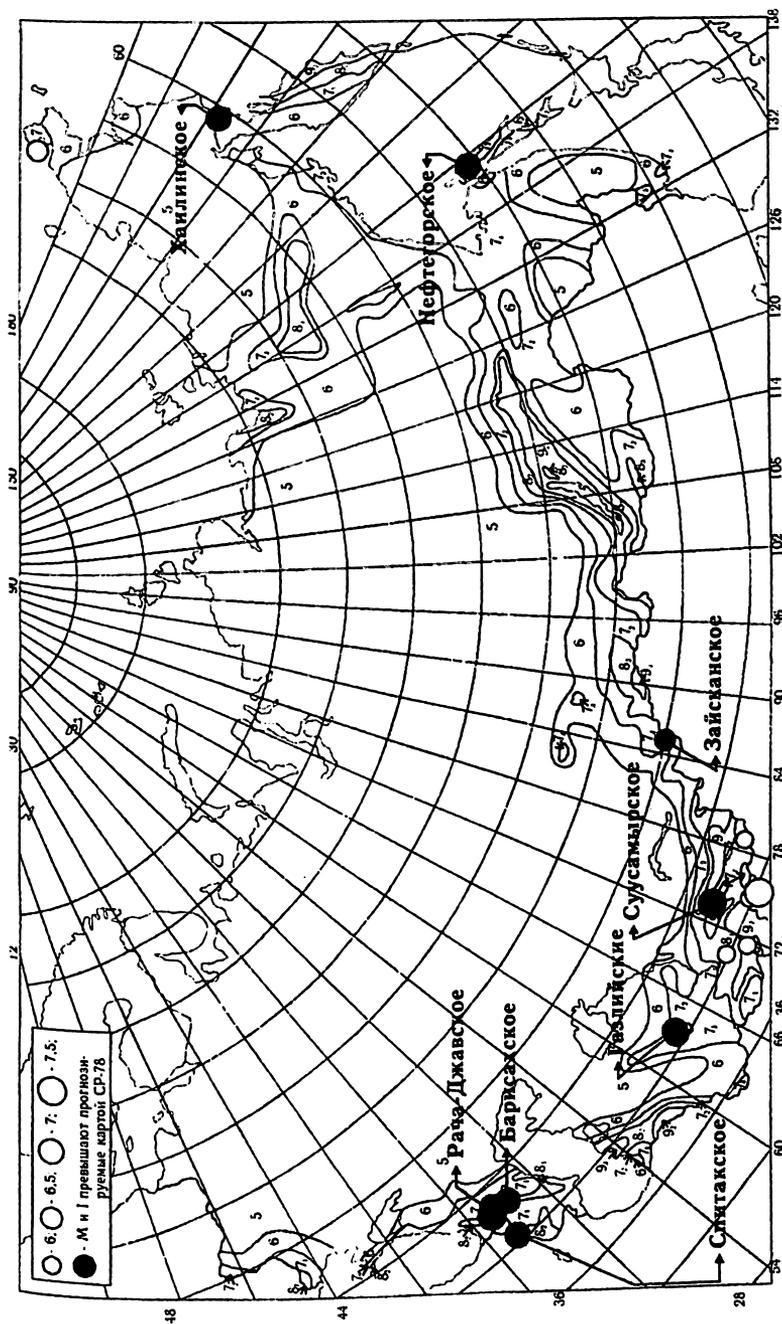


Рис.1. Карта эпицентров землетрясений с $M > 6$ за период с 1983 по У1 1997г.
(за исключением Курило-Камчатской зоны).

чению сейсмостойкости и геодинамической безопасности населения, объектов, территории РФ, в частности Постановление Правительства РФ №. 444 от 11 мая 1994 г. «О федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений», предусматривающее создание в России Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (ФССН) и службы геодинамических наблюдений (СГН) в Минэнерго РФ.

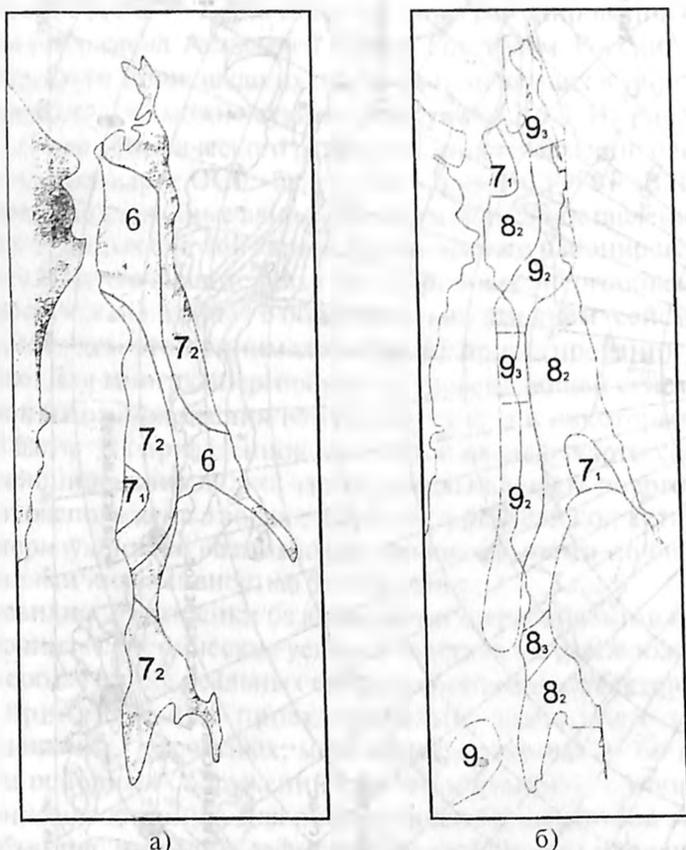
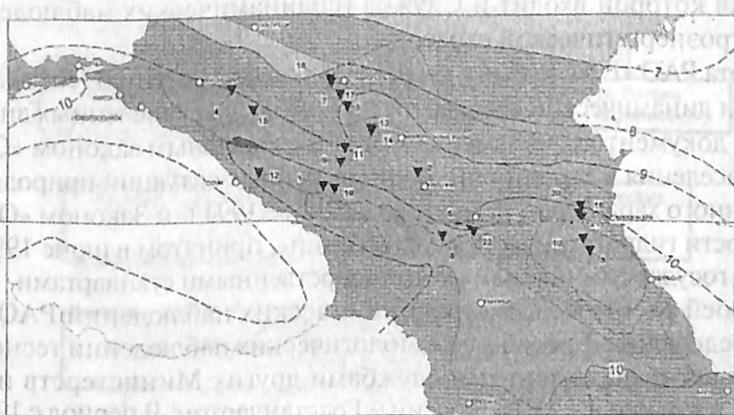


Рис. 2. Схема сейсмического районирования Сахалина: а) — до 1995г. (СНиП II-7-81*); б) — после 1995г. (дополнение к СНиП II-7-81*)

Постановлением Правительства РФ за № 1346 от 25.12.93 г. утверждены Положения о федеральных службах. В качестве основных задач Службы геодинамических наблюдений Минэнерго определены: организация проведения непрерывных режимных наблюдений за геодинамической обстановкой в районах расположения энергетических со-

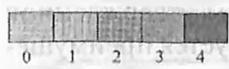


А



Б

Границы зон интенсивности сотрясений на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64



Значения превышения балльности по сравнению с картой ОСР-78

▲ - Теплоэлектростанции ОЭС
Северного Кавказа:

- 1 - Армавирская; 2 - Владикавказская; 3 - Грозненские; 4 - Каспийская; 5 - Кисловодская; 6 - Краснодарская; 7 - Махачкалинская; 8 - Невинномысская; 9 - Старопольская; 10 - Черкесская

▼ - Гидроэлектростанции ОЭС
Северного Кавказа:

- 1 - Акевутская; 2 - Баксанская; 3 - Барсучковские; 4 - Белореченская; 5 - Гергебильская; 6 - Гизельдонская; 7 - Егорликская; 8 - Зарамачская; 9 - Зеленчукская; 10 - Ириганская; 11 - Красногорские; 12 - Краснополянская; 13 - Куршавская -1; 14 - Куршавская -2; 15 - Малайкопская; 16 - Миллатинская; 17 - Свинтухинская; 18 - Сенгилеевская; 19 - Тебердинская; 20 - Чир-Юртская; 21 - Чиркейская; 22 - Эмминская

Рис.3. Карта изменения уровня сейсмической активности Кавказа: А — с годовой вероятностью 1×10^{-3} ; Б — с годовой вероятностью $0,5 \times 10^{-4}$.

оружий; оценка реальной сейсмостойкости этих объектов и их реакции на сейсмические и другие геодинамические воздействия; разработка рекомендаций по предотвращению и снижению ущерба от аварий и катастроф энергетических объектов, связанных с землетрясениями и катастрофическими геодинамическими явлениями.

В соответствии с перечисленными Постановлениями Правительства РФ в РАО «ЕЭС России» на базе специализированных подразделений АО «Институт Гидропроект» организован Центр службы геодинамических наблюдений в электроэнергетической отрасли (ЦСГНЭО), на который возложены функции головной организации по вопросам оценки сейсмических условий и геодинамической безопасности энергообъектов. Координация работы по этому направлению была поручена вице-президенту РАО «ЕЭС России» Лашеннову С.Я.

На рис. 4 приведена утвержденная руководством Минтопэнерго РФ схема службы геодинамических наблюдений Минэнерго РФ, в состав которой входит и Служба геодинамических наблюдений в электроэнергетической отрасли.

Работа РАО «ЕЭС России» и ЦСГНЭО по обеспечению геодинамической и динамической безопасности, помимо перечисленных директивных документов, регламентируется Федеральным законом «О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и геогенного характера», принятого в ноябре 1994 г. и Законом «О безопасности гидротехнических сооружений», принятом в июне 1997 г., а также государственными и межгосударственными стандартами.

В своей работе Служба геодинамических наблюдений РАО как часть федеральной службы сейсмологических наблюдений тесно сотрудничает с аналогичными службами других Министерств и Ведомств, в том числе с МЧС России и Госстандартом. В период с 1996 г. по 2000 г. работа в этой области велась в рамках отраслевых программ РАО «ЕЭС России»: программы НТП 01 «Сейсмостойкость энергетических объектов» и «Комплексной программы по повышению сейсмостойкости объектов в энергетической отрасли», утвержденной в 1996 г. Первая из указанных программ ориентируется преимущественно на разработку научно-методической и нормативной базы обеспечения сейсмостойкости и геодинамической безопасности энергообъектов; вторая — на выполнение конкретных мероприятий по оценке сейсмостойкости и геодинамической безопасности действующих энергообъектов, повышению их безопасности.

В выполнении работ по указанным программам участвуют различные отраслевые научно-исследовательские и проектно-исследовательские институты РАО «ЕЭС России», в первую очередь это АО «Институт Гидропроект», ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»,

АО НИИЭС, территориальные энергетические организации и специализированные институты РАН, Технический комитет внешних воздействий Управления машиностроения и Научно-техническое управление Госстандарта России.

В настоящее время разработан комплекс мероприятий, выполнение которых необходимо для повышения геодинамической безопасности и сейсмостойкости объектов.

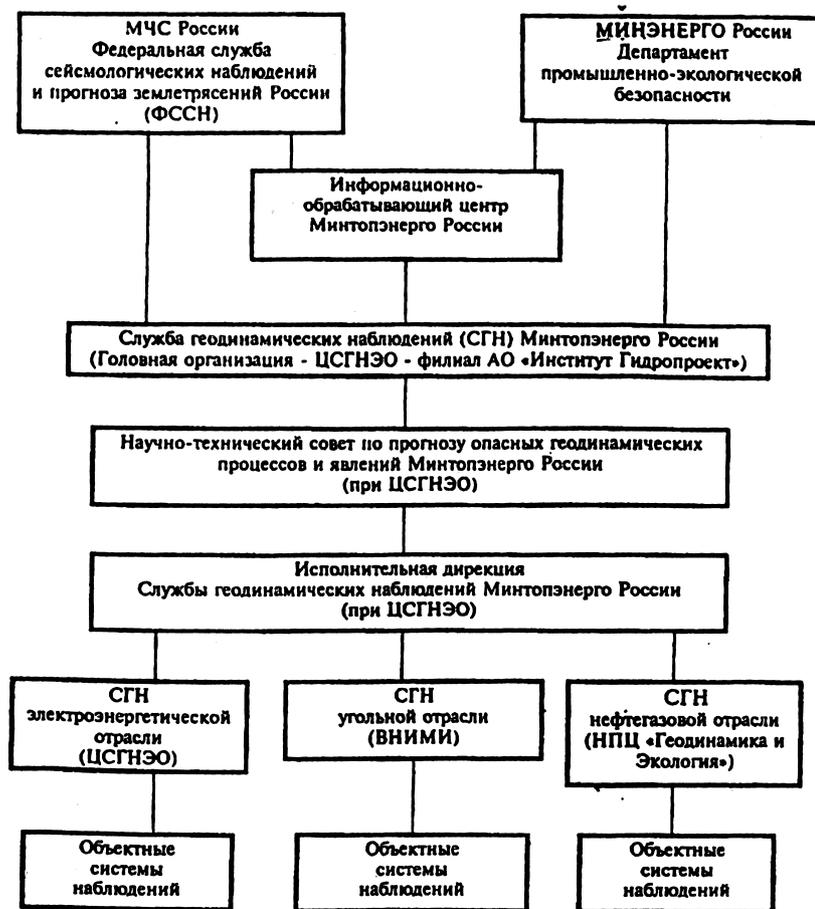


Рис. 4. Структура службы геодинамических наблюдений Минэнерго России.

Составной частью этого комплекса является выполнение априорных мероприятий на действующих энергообъектах. Разработан перечень соответствующих априорных мероприятий, который рекомендован руководителям энергопредприятий.

Значительная часть работ комплекса связана с уточнением сейсмических и динамических условий на действующих энергообъектах, оценкой современного состояния этих объектов с применением инструментальных методов неразрушающего контроля и проведением поверочных расчетов с учетом современного состояния объектов, с разработкой векториальных показателей геодинамической и сейсмической безопасности и выработкой рекомендаций по безопасной эксплуатации энергообъектов. На заключительном этапе работ производится разработка инженерных мероприятий по обеспечению геодинамической и сейсмической безопасности, обучение персонала предприятий правилам поведения при чрезвычайных ситуациях, реализация разработанных инженерных мероприятий, мониторинг и авторский надзор за реализацией мероприятий, разработка нормативно-методических документов.

За время действия указанных отраслевых программ выполнен значительный объем исследований по каждому из перечисленных направлений. Общее представление о выполненных работах можно получить на основании таблицы 2. Согласно данным этой таблицы исследования по уточнению сейсмических условий выполнены для 34 объектов, проведено обследование 18 объектов и выполнены поверочные расчеты сейсмостойкости 25 объектов.

Итоги этих работ изложены в других докладах сотрудников ЦСГНЭО и поэтому здесь мы остановимся лишь на некоторых результатах.

Уточнение сейсмических условий. Выполненные работы показали, что те изменения в карте сейсмического районирования, которые регламентируются новыми нормативными документами, часто не соответствуют действительности. В подтверждение этого в таблице 3 приведено сопоставление результатов детальных обследований сейсмичности районов некоторых энергообъектов с данными СР-97. Судя по этим данным карта сейсмического районирования ОСР-97 во многих случаях существенно завышает сейсмическую опасность, и выполнение работ по уточнению сейсмических условий может привести к определенному снижению уровня расчетной сейсмичности и устранению необоснованных запасов или требований к сейсмостойкости и динамической безопасности различных объектов.

Инструментальное обследование современного состояния объектов. Этот вид работ является дополнением к нормативным обследованиям, которые выполняются 1 раз в 5 лет. Инструментальные обследования выполняются с широким использованием современных методов неразрушающего контроля и, в частности, с исполь-

Таблица 2

Перечень основных энергетических объектов, на которых в 1986-1999 гг. организациями РАО «ЕЭС России» проводились исследования по обеспечению их сейсмической безопасности.

Наименование объектов	Уточненная сейсмичность в баллах шкалы MSK-64 (ее приращение к проектной)	Виды работ, выполненные ЦСГНЭО и другими организациями РАО "ЕЭС России"			
		Уточненные сейсмических условий	Инструментальное обследование	Поверочные расчеты сейсмостойкости	Повторные геодинамические наблюдения
Российская Федерация					
Чиркейская ГЭС ***	9 (1)	+	+	+	+
Миатлинская ГЭС ***	9-9,5 (1-1,5)	+	+	+	
Чир-Юртская ГЭС ***	9-9,5 (2-2,5)	+	+		
Гергебильская ГЭС ***	8 (2)	+	+	+	
Краснодарская ТЭЦ ***	7 (1)	+	+		
Краснополянская ГЭС ***	9 (2)	+	+		
Верхнекрасногорская ***				+	
Майкопская ГЭС ***	7,5 (1,5)	+	+		
Белореченская ГЭС ***	7 (1)	+	+		
Саяно-Шушенская ГЭС ***	8 (1)	+	+	+	+
Иркутская ГЭС ***	8-9	+	+	+	
Красноярская ГЭС ***	7 (2)	+	+	+	
Зейская ГЭС ***	9 (2)	+	+	+	
Колымская ГЭС ***	7 (1)	+	+	+	
Охинская ТЭЦ ***	9 (3)	+	+	+	
Сахалинская ГРЭС ***	9 (2)	+	+	+	
Южно-Сахалинская ТЭЦ-1***	9 (2)	+	+	+	
Артемовская ГРЭС ***	7-8 (1-2)	+		+	
Партизанская ГРЭС ***	7-8 (1)	+		+	
Широковская ГЭС ***	6 (1)	+			
Камская ГЭС ***	6,5 (1,5)	+		+	
Пермская ГРЭС ***	6,5 (1,5)	+			
Ирганайская ГЭС **	8 (1)	+		+	
Богучанская ГЭС **	6-7 (1-2)	+			
Зарамагская ГЭС **	9 (2)	+			
Усть-Средниканская ГЭС *	8 (1)	+		+	
Тельмамская ГЭС *	7	+		+	
Тихорецкая ПЭС-500Кв ***	7	+		+	
Центральная ПЭС-500Кв ***	7	+		+	
Армавирская ПЭС-500Кв ***	6	+	+	+	
Страны СНГ					
Нурекская ГЭС ***	8	+		+	
Токтогульская ГЭС ***	9			+	
Ингульская ГЭС ***	9	+	+	+	
Рогунская ГЭС **	9	+		+	
Камбаратинские ГЭС **	9 (1)	+			
Майнакская ГЭС **	9-10 (1)	+			
Примечание: *** - эксплуатируемые; ** - строящиеся; * - проектируемые объекты					

зованием: геофизических методов. Подобные комплексные исследования позволяют установить не только современное состояние оснований объектов, но и состояние самих сооружений. В качестве примера последнего на рис. 5 приведены данные сейсмической томографии плотины Чиркейской ГЭС, отображающие пространственное распределение в теле плотины участков, характеризующихся различными скоростями продольных и поперечных волн. По этим данным четко вырисовываются структура неоднородности бетона тела плотины, выявляются перенапряженные и ослабленные участки, а также дефектные зоны, существующие в плотине.

Таблица 3

Таблица сопоставления оценок сейсмичности Северного Кавказа

Карты (Схемы) Объекты	Сейсмичность						
	Исходная			Временная схема 1995г.	Нормативная		
	ЦСГНЭО 1999г.				ОСР-97		
	I ₁₀₀	I ₁₀₀₀	I ₁₀₀₀₀	T-500	T-1000	T-5000	
Белореченская ГЭС	6	7		8 ₃ *	7	8	9
Краснодарская ТЭЦ	6	7		8 ₃	8	8	9
Майкопская ГЭС	7	8		8 ₃	8	8	9
Краснополянская ГЭС	8	9		9 ₂	8	9	10
Плотина Чиркейской ГЭС	8		9	9 ₂	9	9	10
Плотина Миатлинской ГЭС	8		9	9 ₂	9	9	10

* индексы 2 и 3 соответствуют средней повторяемости землетрясений один раз в 1000 и 10 000 лет или вероятности 0,05 и 0,005 в ближайшие 50 лет.

Аналогичные данные получены и по ряду других объектов: для плотин Миатлинской, Зейской, Ингурской и др. ГЭС. Эти данные используются в последующем при выполнении поверочных расчетов сейсмостойкости и геодинамической безопасности объектов. На рис. 6 приведены результаты применения метода электрометрии для выделения ослабленных зон в земляной Чирюртской плотине — зоны повышенного разуплотнения в теле плотины, связанной с местами более интенсивной фильтрации.

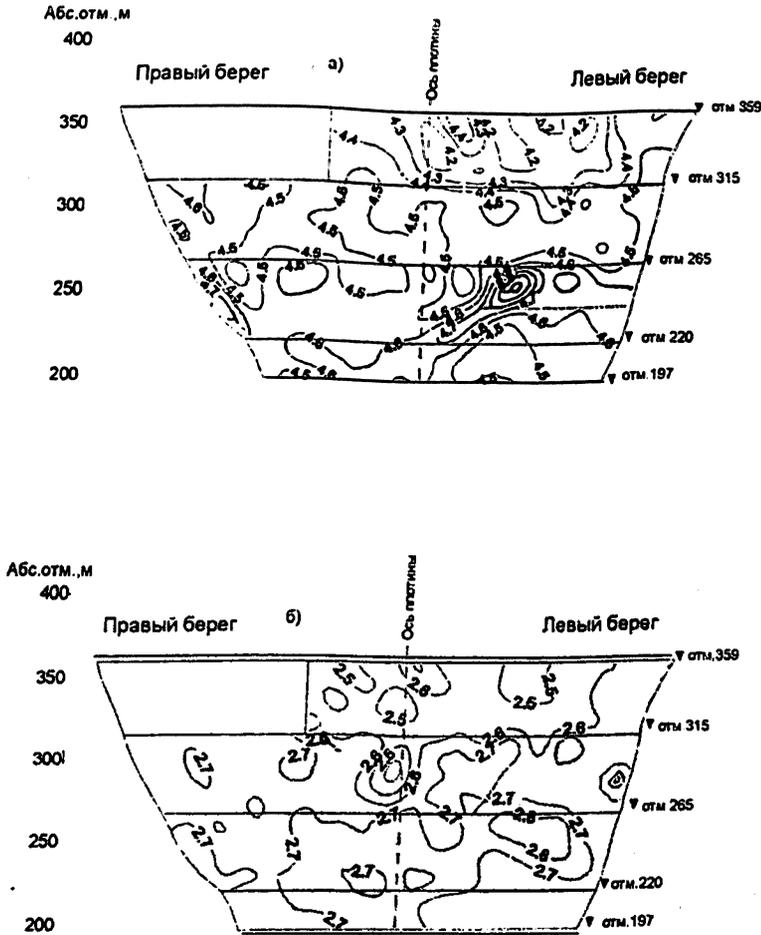


Рис. 5. Чиркейская ГЭС. Результаты сейсмического просвечивания тела плотины в вертикальной плоскости: а) — по продольным V_p волнам, б) — по поперечным V_s волнам

Для выполнения инструментальных обследований в ЦСГНЭО создана соответствующая цифровая аппаратура (табл. 4), отдельные образцы которой представлены на семинаре и с ними можно ознакомиться.

В настоящее время разработаны специальные способы и методики обнаружения различных типов дефектов построенных сооружений, такие как методики определения дефектов и ослабленных зон за облицовкой в туннелях, выявления отдельных трещин и ослабленных участков в конструкциях сооружений и др.

**Общие характеристики аппаратуры, разработанной в ЦСГНЭО
для инженерных изысканий и обследования энергообъектов**

Наименование аппаратуры	Основные технические характеристики				
	Количество каналов	Динамический диапазон, дБ	Частотный диапазон, Гц	Частота оцифровки, Гц	Длина записи
Переносная цифровая станция для сейсмо-разведки СП 001	24	100	5÷2500	0,1 ms	4096 отс.
Ультразвуковая аппаратура УК - 98	7	>60	5000 ÷ 100000	0,1 mks	4096 отс.
Автономный цифровой регистратор сейсмических событий	3	120	0,5÷40	12,5 ms	45 мин
Регистратор акустической эмиссии	1	100	10 ÷ 100	1с ÷ 2 часа	144 отс.
Комплекс инженерно-сейсмометрических наблюдений—КИСН*)	32	90	0,5÷25	0,2	4096 отс.
Аппаратура регистрации собственных маломплитудных колебаний	24	<80	0,5÷100	250	60÷90 мин

К числу больших достижений выполненных работ относится широкое использование современных методов динамических расчетов сейсмостойкости и геодинамической безопасности энергообъектов. Поворотные расчеты, выполняемые в ЦСГНЭО и в других организациях РАО «ЕЭС России», участвующих в работах по рассматриваемой проблеме, базируются на: использовании уточненных оценок сейсмической опасности; представлении сейсмических воздействий в виде трехкомпонентных осциллограмм, приуроченных к реальным сейсмогенерирующим зонам; учете фактических деформационных, прочностных, фильтрационных и других свойств материалов сооружения и его

Графики электропрофилеграмм и геоэлектрические разрезы по плотвине
 Масштаб гор. 1:1000
 масштаб верт. 1:500

ρ к. Ом

10000

1000

ПРОФИЛЬ I

сек. V-I

80

75

70

65

60

55

50

45

40

35

30

25

20

15

10

5

0

1000

2000

3000

4000

5000

6000

7000

8000

9000

10000

11000

12000

13000

14000

15000

16000

17000

18000

19000

20000

21000

22000

23000

24000

25000

26000

27000

28000

29000

30000

31000

32000

33000

34000

35000

36000

37000

38000

39000

40000

41000

42000

43000

44000

45000

46000

47000

48000

49000

50000

51000

52000

53000

54000

55000

56000

57000

58000

59000

60000

61000

62000

63000

64000

65000

66000

67000

68000

69000

70000

71000

72000

73000

74000

75000

76000

77000

78000

79000

80000

81000

82000

83000

84000

85000

86000

87000

88000

89000

90000

91000

92000

93000

94000

95000

96000

97000

98000

99000

100000

101000

102000

103000

104000

105000

106000

107000

108000

109000

110000

111000

112000

113000

114000

115000

116000

117000

118000

119000

120000

121000

122000

123000

124000

125000

126000

127000

128000

129000

130000

131000

132000

133000

134000

135000

136000

137000

138000

139000

140000

141000

142000

143000

144000

145000

146000

147000

148000

149000

150000

151000

152000

153000

154000

155000

156000

157000

158000

159000

160000

161000

162000

163000

164000

165000

166000

167000

168000

169000

170000

171000

172000

173000

174000

175000

176000

177000

178000

179000

180000

181000

182000

183000

184000

185000

186000

187000

188000

189000

190000

191000

192000

193000

194000

195000

196000

197000

198000

199000

200000

201000

202000

203000

204000

205000

206000

207000

208000

209000

210000

211000

212000

213000

214000

215000

216000

217000

218000

219000

220000

221000

222000

223000

224000

225000

226000

227000

228000

229000

230000

231000

232000

233000

234000

235000

236000

237000

238000

239000

240000

241000

242000

243000

244000

245000

246000

247000

248000

249000

250000

251000

252000

253000

254000

255000

256000

основания, установленных при проведении инструментального обследования энергообъектов. Численный трех- или двухмерный анализ реакции системы «сооружение — основание — водохранилище» выполняется путем решения методом конечных элементов системы уравнений, включающей уравнение динамического равновесия, уравнение состояния и геометрические уравнения. Отличительными особенностями и преимуществами используемого расчетного аппарата являются задания воздействия в виде скачка кинематического параметра на контакте сооружения с основанием путем редукции исходной осциллограммы, отвечающей выравненной дневной поверхности, на нижнюю границу расчетного блока основания.

Расчеты напряженно-деформированного состояния выполняются по единой конечно-элементной сетке для всех нагрузок и воздействий основного и особого сочетания путем интегрирования общих исходных уравнений. Начальное гидростатическое напряженно-деформированное состояние рассматриваемой системы, сформировавшейся к моменту землетрясения, представляется как результат реальной последовательности возведения и нагружения сооружения. Оно является фоном, на который накладываются последующие динамические реакции сооружения. Использование достоверных моделей состояния материалов, базирующихся на соответствии упруго-пластических деформирований для бетона и упруго-пластического течения с упрочнением для грунтовых взаимопроникающих сред, позволяет прогнозировать поведение материалов не только в упругой стадии работы, но и за ее пределами. Взаимодействие сооружения с основанием учитывается путем включения в расчет области предстательного инерционного фрагмента основания, задания условий неотражающих границ и учета пригрузки основания сооружением. Взаимодействие плотины с водохранилищем оценивается путем решения уравнений движения системы «плотина—основание», описывающих колебания воды в водохранилище. С помощью специальных контактных капэлементов моделируется работа известных швов и трещин в теле плотины и ее основании.

Начиная с 1990 г., когда Министерством энергетики и электрификации СССР была принята отраслевая программа повышения сейсмостойкости, поверочные расчеты по указанной выше усложненной схеме выполнены более чем для 30 крупных энергообъектов. Для ряда объектов России установлено несоответствие их напряженного состояния тому, которое может быть вызвано максимально возможными сейсмическими воздействиями. В частности, выполненные работы показали, что напряженно-деформированное состояние обследованных плотин Чиркейской, Миатлинской и Чир-

Юртской ГЭС при основных сочетаниях нагрузок удовлетворяет нормативным требованиям. Сейсмостойкость арочной плотины Гергелбельской и грунтовой плотины Чирюртской ГЭС обеспечены при воздействии на них как проектного, повторяемостью 1 раз в 1000 лет, так и максимального расчетного (МРЗ, повторяемостью 1 раз в 10 000 лет) землетрясения. Однако обосновать сейсмостойкость Чиркейской и Миатлинской плотин при МРЗ в рамках линейно-упругого расчета не представляется возможным. При действии максимального расчетного землетрясения значительная часть этих плотин будет работать в условиях внецентренного растяжения — одновременного действия растягивающих напряжений на обеих гранях — как в арочном направлении, так и в консольном. Такое состояние Чиркейской и Миатлинской плотин прогнозируется расчетом при любом эксплуатационном уровне верхнего бьефа и классифицируется как крайне опасное, так как ведет к сквозному раскрытию межсекционных швов, прочность которых при растяжении близка к нулю, и межблочных горизонтальных швов, обладающих пониженной относительно монолитного бетона прочностью на растяжение. Достоверное суждение о способности или неспособности арочных плотин Чиркейской и Миатлинской ГЭС воспринимать прогнозируемые сейсмические воздействия максимального расчетного уровня можно выяснить лишь на основании нелинейных расчетов этих сооружений с учетом раскрытия швов и возможности образования трещин. Динамические расчеты реальных плотин с анализом прочности образующихся вторичных систем трещин ранее в нашей стране не проводились как вследствие трудностей научного плана, так и трудоемкости и длительности подобных исследований. Сегодня такие расчеты возможны.

Аналогичные результаты получены и при обследовании тепловых станций. В частности, проведенное ЦСГНЭО обследование тепловых ТЭЦ на о. Сахалин показало, что большинство из них не удовлетворяет требованиям, которые обуславливаются сейсмической обстановкой на данном острове. Например, по результатам комплексного изучения условий размещения и состояния сооружений Охинской ТЭС установлено, что при прогнозируемом сейсмическом воздействии динамические нагрузки на станцию будут превышать проектный уровень в несколько раз, и станция обязательно будет разрушена.

Подводя общий итог работы по обеспечению сейсмической и динамической безопасности энергообъектов, можно сказать, что в целом определены и сформулированы основные задачи этой проблемы, разработана рациональная методика уточнения сейсмических условий и определения расчетных воздействий, выполнены на-

учно-исследовательские работы по совершенствованию существующих и развитию новых методов расчета сооружений и их обследованию, разработана необходимая нормативно-методическая база, в частности, подготовлена новая редакция СНиП для гидротехнических сооружений. Однако в целом работа по проблеме ведется более медленными темпами, чем это необходимо. Во многом нормальная работа по проблеме затруднена из-за недостаточного финансирования.

В свете изложенного считаем, что дальнейшими первоочередными задачами работ по рассматриваемой проблеме являются:

завершение цикла исследований, связанных с переоценкой уровня сейсмической и динамической опасности для объектов, расположенных в зонах с резко изменившимися нормативными сейсмическими и динамическими условиями;

проведение паспортизации энергообъектов на предмет их сейсмостойкости и переоснащение объектов, расположенных в высокосейсмичных зонах, сейсмостойким электротехническим и энергетическим оборудованием;

создание на наиболее ответственных объектах, эксплуатируемых в зонах повышенной сейсмической активности, специализированных геодинамических полигонов для оперативного контроля за опасными геодинамическими явлениями.

Завершающим этапом работы должна быть оценка риска разрушения или повреждения энергообъектов при сейсмических и динамических воздействиях, базирующаяся на оценке возможного ущерба. Работа в этом направлении начата в АО НИИЭС, АО «Институт Гидропроект» и других организациях РАО «ЕЭС России».

МИР НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

*Пащенко Ю.А., представитель редколлегии журнала
«В мире неразрушающего контроля» (С.-Петербург)*

Я хочу в двух словах рассказать о журнале, который начал издаваться в 1998 г. Журнал совсем молодой, ему только два года, называется он «В мире неразрушающего контроля», что полностью отражает его содержание. В журнале публикуется информация, которая рассчитана на определенный круг читателей, а именно на специалистов-практиков, т.е. в журнале публикуется то, что специалисты по неразрушающему контролю могут применять непосредственно в ежедневной работе: мы публикуем обзоры о методах неразрушающего контроля, обо всех существующих методах, об оборудовании и материалах, которые применяются в работе. Кроме того, журнал используется как средство общения между специалистами по неразрушающему контролю в нашей стране и зарубежных странах, т.е. странах бывшего СССР и странах дальнего зарубежья.

Мы публикуем обзоры, статьи о неразрушающем контроле на конкретных предприятиях. Эти материалы хороши и интересны тем, что в них излагается информация о том, как различные методы неразрушающего контроля комбинируются. Обычно принято каждый метод освещать в отдельности, даже конференции построены таким образом, что рассматривают каждый метод сам по себе. Но чаще всего на производстве, в промышленности специалисты сталкиваются с тем, что им необходимо заменять один метод другим и применить их в совокупности, позволяя снижать затраты и повышать эффективность и достоверность контроля. Это очень важная часть.

В журнале есть разные рубрики, например рубрика «обмен опытом», где мы публикуем материалы специалистов с большим опытом работы в различных отраслях промышленности, транспорта и строительства, которые привлекают большую аудиторию и привлекают наших читателей писать нам письма и задавать вопросы, на которые мы с охотой отвечаем или передаем их тем специалистам, которые могут нам на них ответить. Есть рубрика «спрашиваем-отвечаем» — это тоже своеобразная возможность задать вопрос. Мы также публикуем информацию о конференциях, выставках, проводимых в области неразрушающего контроля или в смежных областях. Кроме того, мы даем нормативную документацию по неразрушающему контролю, т.е. наши читатели становятся нашими авторами очень

часто, а наши авторы становятся нашими читателями, т.е. за два года аудитория очень расширилась и нас читают не только в России, а очень много подписчиков на Украине, Белоруссии и других странах. Мы будем публиковать материалы, рассказывающие о том, как применяются методы неразрушающего контроля в других странах, в частности в Великобритании: первый номер следующего года будет посвящен Великобритании. У нас тесные контакты с нашим российским Обществом, а также с японским, американским и британским Обществами неразрушающего контроля. Кроме этого с польским, израильским. Я думаю, что вам это тоже будет очень интересно. Я надеюсь, что у нас будет больше авторов и больше читателей. Связаться с нами очень просто: в журнале есть номер телефона, адрес редакции, т.е. общение предельно простое. Подписаться на журнал можно легко: через редакцию или через Союзпечать. Если вам есть что сказать — пишите, если у вас не хватает информации — читайте.

ОТРАЖЕНИЕ В ДЕКЛАРАЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ О ФИНАНСОВОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ГРАЖДАНСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ВРЕД, ПРИЧИНЕННЫЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ ГТС

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ И НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО СТРАХОВАНИЮ ГРАЖДАНСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ СОБСТВЕННИКОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Радкевич Д.Б. директор, Орлов А.В., кандидат техн. наук (НТЦ
Госэнергонадзора), Иващенко И.Н. кандидат техн. наук
(АО НИИЭС)*

Вашему вниманию предлагается доклад, который подводит итог двухгодичной работы, проделанной по декларированию безопасности гидротехнических сооружений в электроэнергетическом комплексе России, а также опыту работы, который авторы приобрели, работая в разных группах по подготовке нормативных документов, связанных с дальнейшим развитием положений, которые заложены в Федеральном законе «О безопасности гидротехнических сооружений».

В основном вопрос, связанный с необходимостью формирования владельцем гидротехнического сооружения (ГТС) финансового обеспечения гражданской ответственности (ФОГОТ), связан с действу-

ющими нормами Гражданского Кодекса Российской Федерации (статьи 1064 и 1079), которые предписывают, что любой владелец источника повышенной опасности — а гидротехнические сооружения в терминологии Гражданского кодекса относятся именно к источникам повышенной опасности — обязан возместить вред, причиненный третьим лицам в результате использования этого источника. Исключения достаточно малы: либо это непреодолимая сила, либо умысел самого пострадавшего, либо потеря контроля над источником повышенной опасности, т.е. над ГТС, в результате противоправных действий третьих лиц при отсутствии вины владельца этого источника. Статьей 12 Закона «О безопасности гидротехнических сооружений» предусмотрено, что лицензия на эксплуатацию ГТС выдается при наличии документов, подтверждающих наличие финансового обеспечения гражданской ответственности.

Все это досконально и процедурно описано в документах, которые составляют ныне действующую нормативную базу: Гражданский Кодекс Российской Федерации; Федеральный Закон «О безопасности гидротехнических сооружений»; Постановление Правительства Российской Федерации № 1303 «Об утверждении Положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений», где сказано, что одним из разделов в Декларации безопасности должен быть раздел по оценке величины ущерба, а также сведения о формировании финансового обеспечения; Постановление Правительства Российской Федерации № 1490 «О порядке формирования и ведения Регистра гидротехнических сооружений», которое утвердило Положение и Правила формирования Регистра, где также есть данные, касающиеся финансового обеспечения; Постановление Правительства Российской Федерации № 1320 «Об организации государственного контроля гидротехнических сооружений», где определены органы надзора. В электроэнергетике контроль за формированием финансового обеспечения возложен приказом Минэнерго России от 2 июня 2000 г. № 12 «О декларировании безопасности гидротехнических сооружений» на органы Госэнергонадзора.

Сейчас разрабатываются следующие нормативные документы:

постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Правил определения и утверждения величины финансового обеспечения» (прямая норма статьи 17 Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений»);

постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Положения о лицензировании деятельности по производству электрической и тепловой энергии» (норма, реализующая

положения статьи 12 Закона «О безопасности гидротехнических сооружений»). Лицензия на производство электроэнергии и тепла будет выдаваться при наличии документов — это лицензионное требование — о сформированном финансовом обеспечении владельцем ГТС;

положение о лицензировании отдельных видов деятельности — «Положение о лицензировании деятельности по эксплуатации гидротехнических сооружений» (подготовлено МПР России и касается тех организаций, которые эксплуатируют гидротехнические сооружения на коммерческой основе).

положение о лицензировании деятельности по проектированию и строительству гидротехнических сооружений на территории Российской Федерации (Госстрой России), которое реализует положение Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений»;

проект Федерального закона «Об обязательном страховании гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии ГТС», это прямая норма статьи 15 Закона.

Когда эти правовые и нормативные документы будут приняты, тогда в обязательном порядке необходимо будет заполнять все разделы, связанные с формированием финансового обеспечения. Лицензии будут выдаваться только при наличии документов, подтверждающих, что необходимое финансовое обеспечение сформировано в полном объеме, как того требует действующее законодательство и будет установлено Правительством Российской Федерации.

Практика декларирования безопасности гидротехнических сооружений в электроэнергетическом комплексе за последние два года — это 79 деклараций безопасности, из которых государственную экспертизу прошло 40. В 15 декларациях имеются разделы по оценке возможного ущерба, который может быть причинен третьим лицам при авариях гидротехнических сооружений. Очень много возникает вопросов, касающихся применения методик оценки ущерба, различных расчетных программ по волнам прорыва и по различным сценариям аварий ГТС. В ряде случаев при декларировании применялись программы, которые дают совершенно неправильные результаты. Такие расчетные программы необходимо сертифицировать. У наших коллег в Минтрансе России по 125 объектам гидротехнических сооружений комплексных гидроузлов планируется сделать не более 30 деклараций, фактически сделано не более 10, в МПР России еще меньше.

По формированию финансового обеспечения только в 5 декларациях была сделана попытка продекларировать, что ФОГОТ сформировано.

Основные ошибки, которые встречаются при составлении раздела декларации о финансовом обеспечении гражданской ответственности:

ФОГОТ — это средство, которым должен обладать владелец гидротехнического сооружения, чтобы иметь возможность возместить ущерб, причиненный другим лицам. В ряде деклараций в качестве оценки величины ФОГОТ используется значение ущерба, который причинен самому гидротехническому сооружению. Этот ущерб не может входить в величину финансового обеспечения. Надо оценивать тот ущерб, который будет причинен третьим лицам в результате аварии ГТС;

при оценке величины ФОГОТ возникают проблемы, связанные с применяемой разработчиками данного раздела декларации ценовой базы, с необоснованным применением показателей потери капитальности строений, попадающих в зону затопления, с оценкой вреда, причиняемого жизни и здоровью лиц, находящихся в зоне затопления и т.п.;

в декларациях, где говорится, что ФОГОТ сформировано, не приводится никаких документов, подтверждающих формирование финансового обеспечения и их копии не представлены. Если в декларации делается указание о том, что за вред будет платить РАО «ЕЭС России» или иное лицо, то такое заявление должно быть документально подтверждено (копия договора поручительства). Если говорится об использовании собственных средств, то нельзя включать стоимость самих гидротехнических сооружений, которые могут быть повреждены. Следует иметь в виду, что договоры страхования имущества защищают собственника ГТС от потерь самого имущества, и страховщики пострадавшему лицу будут выплачивать страховое возмещение только на восстановление ГТС или того имущества, которое застраховано по договору, а не средства для возмещения вреда, причиненного третьим лицам. Поэтому договоры страхования имущества не являются основанием для формирования финансового обеспечения. Договоры страхования персонала от несчастного случая также не являются основанием для формирования финансового обеспечения. Персонал — это не третьи лица. Вред, причиненный персоналу даже в результате аварии на производственном объекте, включая ГТС, регулируется законодательством о труде, а не договорами страхования гражданской ответственности. Необходимо отметить и то, что в Федеральном законе

«О промышленной безопасности опасных производственных объектов» записано, что при выдаче лицензии на эксплуатацию опасных производственных объектов делается запись о наличии договора страхования риска причинения вреда при эксплуатации опасного производственного объекта, но гидротехнические сооружения в этот перечень опасных производственных объектов не входят. Поэтому договоры страхования, которые владельцы ГТС предъявляют в органы Госгортехнадзора России для получения разрешения на эксплуатацию сосудов, работающих под давлением, подъемно-транспортных машин и механизмов и т.д., не являются основанием для выплаты страховщиком возмещения за вред, причиненный третьим лицам в результате аварии ГТС. Сейчас, из-за отсутствия необходимой нормативной базы, органы надзора за безопасностью гидротехнических сооружений только контролируют выполнение разработчиком декларации безопасности пунктов, касающихся расчета ущерба и формирования финансового обеспечения.

После выхода соответствующих нормативных документов необходимо будет владельцам гидротехнических сооружений не только определять возможный ущерб, но и формировать финансовое обеспечение гражданской ответственности. В связи с этим необходимо отметить два документа, которые сейчас наиболее подготовлены и находятся в стадии рассмотрения в органах власти Российской Федерации.

Первый документ — проект постановления Правительства Российской Федерации об определении и утверждении величины финансового обеспечения ответственности за вред, причиненный аварией гидротехнического сооружения. Согласно Федеральному закону «О безопасности гидротехнических сооружений» порядок определения величины финансового обеспечения устанавливается Правительством Российской Федерации. Постановление утверждает Правила, где записана следующая процедура — величина финансового обеспечения устанавливается единой для всех ГТС, которыми владеет и которые эксплуатирует владелец ГТС, то есть, если АО-энерго владеет, например, шестью гидротехническими сооружениями, то величина финансового обеспечения будет установлена единая по всем этим сооружениям. Процедура показана на рис. 1.

Величина финансового обеспечения определяется исходя из максимального значения ущерба, рассчитанного для всех ГТС. т.е. по каждому сооружению рассчитываются ущербы и из этих значений выбирается максимальная величина, которая назначается величиной финансового обеспечения. Если авария ГТС приводит к каскад-

ным или кумулятивным ущербам, то соответствующий сценарий аварии, для которой рассчитывается ущерб, должен предусматривать такую возможность. На рис. 1 показан пример определения величины финансового обеспечения для владельца шести ГТС. В проекте постановления порядок расчета финансового обеспечения будет определяться Правилами, которые разрабатываются органами надзора вместе с МЧС России.

Принцип определения ФОГОТ

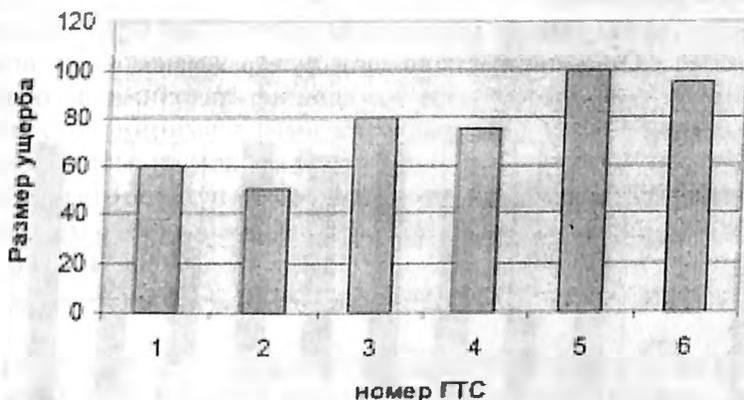


Рис.1 Принцип определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности для владельца нескольких ГТС.

Второй документ, который внесен на рассмотрение депутатами в Государственную Думу, — проект Федерального закона «Об обязательном страховании гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии ГТС». Проект Закона устанавливает, как того требует законодательство Российской Федерации:

понятие страхователя, страховщика и потерпевших, т.е. субъекты страхования;

объект страхования, т.е. страховой риск;

минимальные значения страховых сумм, которые корреспондируются с величинами, установленными Правительством Российской Федерации по типам чрезвычайных ситуаций;

страховые тарифы, при этом диапазон страховых тарифов очень широкий, высокие значения тарифа играют так называемую «заградительную» роль, когда владельцу ГТС выгоднее направить средства не на страхование, а на мероприятия по обеспечению безопасности ГТС; типовые требования к договору страхования.

Эти требования позволят избежать ситуации, показанной на рис. 2, которая возможна сейчас при заключении договора страхования гражданской ответственности. За 100 % принята величина финансового обеспечения, и показаны по оси абсцисс различные причины, которые приводят к возникновению аварии и причинению вреда. В нынешней ситуации страховые компании могут ограничить свою ответственность путем введения франшиз и лимитов ответственности страховщика по выплате ущерба. С другой стороны, тариф применяется ко всей страховой сумме, что увеличивает расходы страхователя на страхование.

Ответственность по договору страхования



Рис. 2. Распределение ответственности по договору страхования между страховщиком и страхователем за счет установления франшиз и лимитов ответственности в договоре страхования.

Если произойдет авария, например, по сценарию 2, то часть ущерба страховщик оплачивать не будет, поскольку это будет оговорено в договоре страхования. Владелец ГТС этот ущерб должен будет оплачивать из собственных средств. Значит, на эту величину он должен формировать из собственных средств финансовое обеспечение. Чтобы избежать этого, в проекте закона вводится жесткая процедура, т.е. определяется условие и порядок осуществления страхования, как это записано в Федеральном Законе «О развитии страхового дела в Российской Федерации».

По оценкам авторов общие расходы электроэнергетической отрасли на формирование ФОГОТ за счет страхования может составить приблизительно 100–150 млн. руб. в год по всем гидротехническим сооружениям, входящим в состав предприятий и организаций

электроэнергетического комплекса России. Если формировать ФОГОТ только за счет собственных средств владельцев ГТС, то затраты могут составить несколько миллиардов рублей, которые будут полностью выведены из хозяйственного оборота, так как должны быть представлены в виде высоколиквидных активов для обеспечения соответствующих выплат за причиненный вред.

Сейчас обеспечение гарантий по возмещению вреда, который может быть причинен при аварии гидротехнических сооружений, осуществляется в добровольной форме. Дальнейшее развитие этого процесса потребует разработки не только методики оценки возможного вреда при подготовке декларации безопасности, но и документов, позволяющих владельцам гидротехнических сооружений надежно сформировать финансовое обеспечение гражданской ответственности с минимальными затратами. В этом процессе органы государственного надзора за безопасностью гидротехнических сооружений должны не только контролировать наличие сформированного владельцем сооружений финансового обеспечения, но и помогать ему в этом процессе.

АНАЛИЗ ОПЫТА ДЕКЛАРИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГИДРО - И ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАЦИЙ В ОАО «ВНИИГ ИМ. Б.Е. ВЕДЕНЕЕВА»

*Сольский С.В., кандидат техн. наук, Никитина Н.Я., инженер
(ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)*

Мне как представителю ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», вначале хотелось бы выразить благодарность Оргкомитету за очень удачно подобранную комбинацию вопросов, поставленных на этом Совете, и хочется сказать, что мы с большим удовольствием откликнулись и приехали поучаствовать. Теперь по теме сообщения.

Первые разработки разделов деклараций безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) были выполнены в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» еще в 1996 г. в процессе обязательного декларирования опасных промышленных объектов согласно вышедшему в 1996 г. Перечню [1], утвержденному Госгортехнадзором и МЧС России. Этот перечень включал, в частности, предприятия ПО «Фосфорит», ПО «Апатит» и др., имеющие в своем составе хвостохранилища, шламонакопители и другие специализированные ГТС. Порядок разработки деклараций безопасности (ДБ) промышленных объектов [1]

содержал особые требования к ДБ ГТС, однако нормативная база в этой области оставалась крайне недостаточной [1-6].

Еще до выхода в свет Федерального Закона «О безопасности ГТС» в институте была создана рабочая группа по разработке методов анализа риска ГТС. В инициативном порядке тогда были сформулированы основные положения анализа безопасности, концепция анализа и оценки риска аварий ГТС, подход к количественной оценке риска ГТС в условиях недостатка информации о сооружениях. В это же время была начата деятельность по заказам РАО «ЕЭС России»:

1997 г. — «Методика разработки деклараций безопасности ЗШО ТЭС РАО «ЕЭС России» (12.005)

1997 г. — «Унифицированные правила обследования ГТС для разработки ДБ» (12.006)

1999 г. — «Методика количественной оценки риска ГТС» (12.008) и др.

(Результаты последней работы подробно будут рассмотрены в докладе Н.Я. Никитиной «Методические основы анализа и оценки риска аварий гидротехнических сооружений различных типов и назначения»).

В целом перечисленные разработки позволили: сформулировать концепцию анализа опасностей и риска ГТС; аккумулировать и проанализировать отечественный и зарубежный опыт анализа безопасности ГТС; разработать процедуру декларирования безопасности и анализа риска аварий ГТС; сформулировать сферу приложения процедуры анализа риска аварий ГТС в сфере управления безопасностью ГТС.

Результаты НИР с 1997 г. использовались в практической деятельности ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» по разработке деклараций безопасности ГТС и параллельно обсуждались на совещаниях и семинарах по данной проблеме:

совещание-семинар РАО «ЕЭС России» «Обеспечение безопасности сооружений тепловых электростанций» (БС ТЭС-97), 12 – 15 мая 1997 г., Челябинск;

специализированное совещание Северо-Западного регионально-го центра МЧС России по методическому обеспечению экспертизы деклараций безопасности гидротехнических сооружений, хвостохранилищ, шламонакопителей и золошлакоотвалов ТЭС, 17 июня 1997 г., г. С.-Петербург;

научно-практическая конференция «Опыт функционирования и проблемы развития регионального и территориального

звеньев РС ЧС в Северо-Западном регионе», 27-28 августа 1997 г., г. С-Петербург;

семинар «По вопросам эксплуатации и надежности энергетического, технологического оборудования и сооружений (АОЭиЭ Иркутскэнерго)», 18-19 ноября 1997 г., г. Иркутск;

совещание «Вопросы обеспечения и декларирования безопасности гидротехнических сооружений в свете требований Федерального Закона «О безопасности гидротехнических сооружений». ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 24 ~ 26 июня 1998 г., г. С-Петербург;

совещание «Вопросы безопасности и декларирования безопасности гидротехнических сооружений в свете требований Федерального Закона «О безопасности гидротехнических сооружений». ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 24-26 июня 1998 г., г. С-Петербург;

семинар «Декларирование безопасности эксплуатируемых ГТС». — Минтопэнерго России, Главгосэнергонадзор России, Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов, 29 июня — 1 июля 1998 г. — Москва, Раменское;

семинар «О независимой аудиторской и оценочной деятельности в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, страхования ответственности за причинение вреда в случае аварии на опасном промышленном объекте». МЧС России, 23 — 24 июля 1998 г. — Москва;

семинар-совещание «Декларирование безопасности эксплуатируемых ГТС» для руководителей и специалистов филиалов АЭК «Комиэнерго». 9 — 11 декабря, 1998 г., г. Сыктывкар;

семинар «Практика декларирования безопасности ГТС ГЭС и ТЭС» для эксплуатационного персонала «Уралэнерго». 29 — 31 марта, 1999 г., г. Екатеринбург;

семинар «Надзор и декларирование безопасности гидротехнических сооружений» Петербургский энергетический институт повышения классификации Минтопэнерго РФ 17-19 мая 1999 г., г. С-Петербург;

семинар «Декларирование безопасности гидротехнических сооружений» ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 1-8 декабря 1999 г., г. С-Петербург.

По материалам семинаров и совещаний в открытой печати сотрудниками ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» было опубликовано более 30 статей (работы [7-12]). К настоящему времени в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» разрабатывается более 40 деклараций безопасности ГТС электростанций. Кроме того, разработан ряд деклараций безопасности ГТС для организаций, подконтрольных Госгортехнадзору и МПР России. Анализ результатов практической

деятельности в части разработки ДБ ГТС (и отдельных их разделов) позволяет нам выделить особенности декларируемых объектов, определяющих специфику конкретных ДБ:

объекты декларирования располагаются практически во всех регионах России - от Калининграда, ОАО «Янтарьэнерго», до ОАО «Чукотэнерго»; таким образом, представлен весь спектр природно-климатических и социально-экономических условий территорий размещения ГТС;

мощность декларируемых электростанций составляет от 7 МВт для Верхотурской ГЭС до 8000 МВт для Сургутских ГРЭС-1,2;

комплексы декларируемых сооружений весьма разнообразны - от одной плотины на Волховской ГЭС до объектов из трех водохранилищ и двух золошлакоотвалов (Верхне-Тагильская ГРЭС); ряд ГТС находятся в каскадах;

возраст сооружений колеблется от 10-20 до 250 лет (демидовские плотины на Урале);

диапазон классов ГТС - от I до IV;

наблюдаемость ГТС и обеспеченность их контрольно-измерительной аппаратурой существенно различаются - от современных автоматизированных систем наблюдений до полного отсутствия КИА и наблюдений вообще;

проектная, исполнительная и нормативная документация по ряду объектов недостаточна, а по отдельным объектам и отсутствует вовсе;

различия в уровне комплектации и квалификации персонала, отвечающего за эксплуатацию ГТС; характерно зачастую отсутствие специалистов-гидротехников на тепловых электростанциях, работающих на угле.

При разработке ДБ во ВНИИГ составляется сетевой график разработки и назначается ответственный исполнитель из числа специалистов, досконально знающих данное или аналогичные сооружения. В процессе декларирования ответственный исполнитель привлекает тех или иных специалистов или организации для выполнения конкретных работ в рамках ДБ. В разработку ДБ таким образом вовлекается до 40 высококвалифицированных специалистов. В среднем на разработку одной декларации уходит от 6 до 12 месяцев. Бытующее мнение, что для так называемого заполнения ДБ требуется 1-2 человеко-месяца, представляется нам ошибочным и даже вредным.

В процессе декларирования безопасности ГТС нами накоплен ценный *положительный опыт*:

сотрудники института досконально изучили весьма значительное число ГТС, в том числе уникальных;

налажены новые контакты с эксплуатационным персоналом станций, службами энергетических компаний, надзорными органами, штабами ГО и др.;

разработка ДБ, как правило, влечет за собой продолжение взаимодействия с персоналом декларируемого объекта в части мер по повышению безопасности ГТС, решения конкретных гидротехнических вопросов;

налажены творческие контакты и процедура взаимодействия с проектировщиками ГТС - так, значительный объем работ по декларированию мы ведем совместно с АО «Ленгидропроект», «Атомтеплоэлектропроект» и другими проектными организациями;

на практике отработана оптимальная процедура декларирования безопасности ГТС.

Накопленный опыт декларирования безопасности ГТС подтверждает тезис, сформулированный нами еще в 1997 году: *декларации безопасности надо разрабатывать, а не составлять, причем в разработке ДБ должны принимать участие проектировщики объекта, ответственный за эксплуатацию ГТС персонал станций, специалисты по обеспечению безопасности сооружений и мехоборудования. Состав группы разработчиков ДБ ГТС должен подбираться с учетом специфики ГТС и условий территории их размещения.*

Существенные осложнения и трудности разработки деклараций безопасности ГТС, с которыми нам пришлось столкнуться, обусловлены следующими причинами:

недостаточность нормативно-методической базы декларирования безопасности ГТС, анализа и оценки риска аварий сооружений разных типов, классов и назначения; имеющиеся документы [13-17] явно недостаточны и допускают разнообразные трактовки;

отсутствие обещанного Положения об экспертизе деклараций безопасности и четких правилах ее проведения;

единственный в России экспертный центр, принимающий на экспертизу декларации безопасности ГТС гидро- и теплоэлектростанций, явно не справляется со своими функциями, что вызывает серьезное недовольство и финансовые затруднения у разработчиков ДБ и собственников декларируемых объектов; например, экспертиза ряда ДБ длится более полутора лет, тогда как их разработка заканчивалась за 6 – 12 месяцев;

весьма недалновидным было и остается, за редким исключением, поведение научно-исследовательских и проектных организаций -разработчиков ДБ ГТС, «вырывающих» друг у друга заказы, вместо того чтобы скоординировать свои действия и объединиться; на-

глядным примером плодотворного объединения усилий по расширению сферы услуг в части ДБ является тандем ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» - АО «Ленгидропроект»: в ряде деклараций, разработку которых ведем мы, Ленгидропроект выполняет общие разделы, и наоборот - в ряде деклараций Ленгидропроекта мы разрабатываем разделы «Анализ опасностей и риска» и др.; результаты сотрудничества не только серьезно облегчают разработку и сопровождение экспертизы ДБ, но и позволяют расширить сферу нашего общего влияния;

выжидательно отстраненной остается пока и позиция большинства страховых компаний - обоснование страховых тарифов и ставок до сих пор нормативно не оформлено, хотя могло и должно было быть сделано в рамках разработки ДБ ГТС.

Тем не менее, опыт разработки и сопровождения экспертизы ДБ ГТС гидро- и теплоэлектростанций, накопленный нами за последние годы, позволил не только сформулировать и адаптировать к практическим приложениям основные подходы и методы анализа опасностей и риска ГТС, но и применять наши разработки на других объектах и по другим направлениям. Так, в настоящее время мы ведем декларирование безопасности ГТС предприятий, поднадзорных МПР и Госгортехнадзору России. Кроме того, интенсивно развивается новое направление - анализ и обеспечение безопасности сложных природно-технических систем, включающих грунтовые ГТС и опасные производственные объекты (газопровод УДС ФМР-ГТС СГРЭС-1,2; мостовой переход через р. Волга - ЗШО ЯртЭЦ-1,2), и т.д. Разработан и введен в действие Стандарт Предприятия «Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений» [18].

Выводы

1. Процедура декларирования безопасности ГТС объектов Минэнерго является эффективным инструментом управления безопасностью ГТС и позволяет всем ее участникам лучше понимать особенности конкретных сооружений, уровень их потенциального риска для населения, материальных ценностей и окружающей природной среды.

2. По результатам разработки ДБ ГТС формируется Регистр ГТС.

3. Опыт научных исследований и практической деятельности по разработке ДБ ГТС позволил сформулировать подходы и методы анализа риска аварий ГТС различных типов, классов и назначения.

4. Декларирование безопасности — важный, но далеко не единственный аспект в системе управления безопасностью ГТС. Перспективными представляются приложения опыта разработки ДБ ГТС в части страховой и оценочной деятельности, разработки первоочередных мер повышения уровня безопасности ГТС и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Порядок** разработки Декларации безопасности промышленного объекта РФ и Перечень промышленных объектов РФ с повышенной опасностью, подлежащих декларированию в 1996 г. Утв. Приказом МЧС России и Госгортехнадзора России № 222/59 от 04.04. 1996.
2. **Методические указания** по проведению анализа риска опасных промышленных объектов. РД 08-120-96. Утв. Госгортехнадзором России 12.07.96. Постановление № 29.
3. **Порядок** экспертизы Декларации безопасности промышленного объекта РФ. Утв. Приказом МЧС России и Госгортехнадзора России № 599/125 от 07.08.96.
4. **Положение** о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Утв. Постановлением Правительства РФ № 1094 от 13.09.96.
5. **Принципы** идентификации гидротехнических сооружений, хвостохранилищ и шламонакопителей, подлежащих обязательному декларированию безопасности. Утв. Письмом МЧС России и Гостехнадзора России № 40-1672-9 от 23.06.97.
6. **ФЗ** «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.97.
7. **Bellendir E.N., Solskiy S.V., Nikitina N.Ja.** Methodical Basis and Progress in the Risk Analysis and Risk Assessment of Embankment Dams in Russian Federation. Proceedings of '99 International Conference on Dam Safety and Monitoring. 19-22 October 1999. P.R. China.
8. **Беллендир. Е.Н., Сольский С.В., Пантелеев В.Г., Никитина Н.Я.** Анализ риска и декларирование безопасности золошлакоотвалов. //Безопасность энергетических сооружений. - М: АО НИИЭС, 1998. Вып. 2-3.
9. **Сольский С.В., Никитина Н.Я.** Примерный план-график работ и их состав для декларации безопасности ГТС. //Материалы семинара «Надзор и декларирование безопасности гидротехнических сооружений» Петербургский энергетический институт повышения классификации Минтопэнерго РФ 17-19 мая 1999.
10. **Никитина Н.Я.** Идентификация опасностей и анализ риска аварий ГТС. //Материалы семинара «Надзор и декларирование безопасности гидротехнических сооружений» Петербургский энергетический институт повышения классификации Минтопэнерго РФ 17-19 мая 1999.13. **ФЗ** «О безопасности гидротехнических сооружений» № 1167-ФЗ от 21.07.97.

11. **Василевский А.Г., Дурчева В.Н.** Назначения показателей состояния эксплуатируемых высоких плотин. //Гидротехническое строительство. 1999. № 2.
12. **Бобков С.Ф., Боярский В.М., Векслер А.Б., Швайнштейн А.М.** Основные факторы учета пропускной способности гидроузлов при декларировании их безопасности. //Гидротехническое строительство. 1999. №4.
13. **ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» № 1167-ФЗ** от 21.07.97.
14. **Постановление** Правительства РФ «Об утверждении положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений» № 1303 от 06.11.98.
15. **Правила** декларирования безопасности ГТС, находящихся в ведении, собственности или эксплуатации топливно-энергетического комплекса РФ. Утв. Приказом Минтопэнерго России № 232 от 12.07.99.
16. **Порядок** разработки и дополнительные требования к содержанию декларации безопасности гидротехнических сооружений на подконтрольных Госгортехнадзору России предприятиях (организациях). Утв. Постановлением Госгортехнадзора России № 17 от 25.02.99 г. РД 03-268-99.
17. **Дополнительные** требования к содержанию и форме декларации безопасности гидротехнических сооружений, поднадзорных МПР России. Утв. Приказом МПР России от 02.03.99 г. № 39.
18. **Методические** указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений. //Под ред. Е.Н. Беллендира, С.В. Сольского, Н.Я. Никитиной. - С.-Пб., ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденесева», 2000. 87 с.

ОПЫТ ДЕКЛАРИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В АО НИИЭС

Блинов И.Ф., инженер (АО НИИЭС)

В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 1303 от 06.11.1998 г. декларирование безопасности гидротехнических сооружений, аварии которых могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций, является обязательным при их проектировании, строительстве, в период эксплуатации и выводе из эксплуатации. Декларации разрабатываются на стадии проекта проектной организацией, на стадии эксплуатации - собственником или эксплуатирующей организацией с привлечением, в случае необходимости, проектных и научно-исследовательских организаций (Приказ Минтопэнерго России от 31.12.1997 г. № 46/79).

Декларирование безопасности выполнялось вначале в соответствии с «Временным порядком...», а затем в соответствии с «Правилами декларирования безопасности гидротехнических сооруже-

ний, находящихся в ведении, собственности или эксплуатации организаций топливно-энергетического комплекса Российской Федерации» (Приказ Минтопэнерго России от 12.06.1999 г. № 232).

Специалисты АО НИИЭС участвовали в разработке деклараций безопасности Братской, Иркутской, Усть-Илимской, Волжской, Зейской, Нижнекамской, Камской, Рыбинской, Угличской, Колымской, Цимлянской, Широковской, Зеленчукской ГЭС, Загорской ГАЭС, а также гидротехнических сооружений Новочеркасской, Томской, Несветай, Ириклинской, Кармановской, Черепетской, Улан-Удэнской и Заинской ГРЭС.

Опыт декларирования безопасности ГТС позволил обратить внимание собственников или эксплуатирующих организаций на нерешенные проблемы в организации и осуществлении контроля состояния ГТС и своевременного выполнения ремонтно-восстановительных работ и сформулировать мероприятия для повышения надежности и обеспечения безопасной эксплуатации ГТС.

В процессе работ по декларированию было выявлено большое количество нарушений требований «Положения о системе отраслевого надзора за безопасностью гидротехнических сооружений электростанций» РД 34.03.102-94, а также других нормативных документов при эксплуатации ГТС ГРЭС. На многих гидросооружениях ГРЭС (Томская, Новочеркасская и др.) не в полном объеме установлена необходимая контрольно-измерительная аппаратура, наблюдения проводятся нерегулярно или вообще не проводятся, не в полном объеме проводятся визуальные наблюдения.

Декларирование безопасности ГТС и экспертиза деклараций выявили недостатки в выполнении предписаний комиссий при централизованных обследованиях ГТС собственниками или эксплуатирующими организациями. По большинству ГТС предписания комиссий, направленные на обеспечение безопасной эксплуатации, выполняются, что было отмечено в докладе Зотова В.М. Однако декларирование и особенно экспертиза деклараций показала, что многие предписания не только комиссий централизованных обследований, но и предписания представителей Энергонадзора не выполняются.

Основой идеи декларирования была активизация работ по обеспечению необходимого, отвечающего нормативным требованиям и условиям эксплуатации уровня безопасности ГТС. Исходя из имеющегося опыта декларирования, нельзя сделать вывод о том, что этот вопрос решается успешно. Есть опасение, что декларации постигнет участь паспортов гидротехнических сооружений. Как показывает опыт, в этом документе иногда не фиксируются различного

рода повреждения (а нередко — и аварии) сооружения, и принятые меры для обеспечения безопасной работы, как это было задумано при его создании, не оказывают существенного влияния на безопасность сооружения.

В процессе работ по декларированию потребовал разрешения вопрос определения уровня безопасности ГТС, как это записано в Федеральном законе «О безопасности сооружений». На крупных ГТС вопросы обеспечения безопасности решаются либо хорошо, либо удовлетворительно. Иначе обстоит дело с обеспечением безопасной эксплуатации гидросооружений ГРЭС, ТЭС. Здесь гидросооружения слабо или совсем не оснащены КИА, инструментальные и визуальные наблюдения проводятся нерегулярно, предписания комиссий централизованного обследования не выполняются или выполняются частично. В этих условиях оценку уровня безопасности можно выполнить только экспертным путем. Сейчас для этой цели широко используется методика, разработанная в АО НИИЭС (автор кандидат техн. наук Иващенко И.Н.), однако при определении уровня безопасности используются знания небольшого количества (не более 2 — 3) экспертов. Для более надежной оценки уровня безопасности желательно иметь, например, при НТЦ Госэнергонадзора, постоянный состав квалифицированных экспертов, которые могли бы более предметно участвовать в оценке состояния гидротехнических сооружений и определять уровень их безопасности на основе имеющихся исходных данных и накопленных знаний каждого эксперта. Это положение следовало бы записать в «Правила декларирования...».

Требуется внесения корректив раздел «Правил декларирования...», в котором изложены требования к сведениям, касающимся обоснования проектов ГТС, а именно: перечень научно-исследовательских работ, выполненных для обоснования проектов гидросооружений, перечень использованных при проектировании ГТС нормативных документов и т.п. Все эти вопросы были рассмотрены в свое время экспертными организациями, и на основе оценки полноты представленных материалов экспертизой одобрены проекты и выдано разрешение на строительство ГТС. Поэтому, на наш взгляд, нет необходимости возвращаться к этому вопросу после 20 — 30 лет эксплуатации гидросооружения. То же относится и к перечню нормативных документов, использованных при проектировании гидросооружения.

Рекомендуется уточнить требования «Правил декларирования...» в части представления в декларации иллюстративных материалов. Было бы целесообразно представлять лишь общий план и основные поперечные разрезы с основаниями по гидросооружениям, отдельные узлы

(детали), от состояния которых зависит безопасная эксплуатация сооружений (детали противоточных устройств, дренажи и т.п.), а также схему расположения КИА на ГТС без деталей.

Требуется уточнения редакция пунктов «Правил декларирования...», касающихся вопросов страхования. Можно оставить эти пункты в «Правилах...», т.к. вопросы страхования приобретают актуальное значение, но до выхода в свет нормативных документов должен быть сформулирован стандартный ответ на вопросы, поставленные в этих пунктах «Правил...». Это необходимо сделать для того, чтобы при экспертизе декларации не возникали различные толкования этого вопроса.

И, наконец, при декларировании возникают трудности, связанные с оценкой ущерба при возникновении чрезвычайной ситуации в результате, например, прорыва напорного фронта. Во-первых, не для всех сооружений при проектировании определен ущерб от волны прорыва в нижнем бьефе; во-вторых, за длительный период эксплуатации в нижнем бьефе может сильно измениться обстановка - освоение новых земель, возникновение новых населенных пунктов, промышленных предприятий и т.д. В этом случае, прежде чем приступить к декларированию, собственнику или эксплуатирующей организации необходимо заказать работы по оценке ущерба в результате чрезвычайной ситуации, а уж потом разрабатывать декларацию. Этот вопрос тесно связан также с вопросами страхования.

В заключение следует отметить положительную роль декларирования безопасности ГТС в активизации работ по разработке новых систем контроля, в том числе автоматизированных и информационно-диагностических, и использовании экспертных оценок состояния сооружений наряду со статическими и детерминистическими моделями сооружений.

Декларация безопасности помимо основного назначения — оценки уровня безопасности - является сводом ценной информации о состоянии ГТС и служит основой для выполнения необходимых мер по обеспечению безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений»** от 21.07.1997 г. № 117-ФЗ.
2. **Приказ Минтопэнерго РФ и МЧС** от 31.12.1997. № 461/792
3. **Временный порядок декларирования безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений гидравлических и тепловых электростанций.** М.:1997 г.
4. **Правила декларирования безопасности гидротехнических сооружений, находящихся в ведении, собственности или эксплуатации организаций топливно-энергетического комплекса РФ.** Утверждено приказом Минтопэнерго России от 12.07.1999. № 232.

СТРАХОВАНИЕ ГРАЖДАНСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ В ГИДРОЭНЕРГЕТИКЕ

Лобанов А.Н. (страховая акционерная компания «Энергогарант»)

События текущего года, к сожалению, свидетельствуют о существовании неблагоприятной тенденции по нарастанию числа чрезвычайных ситуаций. МЧС России прогнозирует рост количества техногенных катастроф.

Между тем, в большинстве случаев аварии техногенного происхождения имеют экономические причины и поэтому не являются фатально неизбежными.

Представляется необходимым, не ожидая принятия нормативно-правовых актов, использовать все возможности для создания новых уровней контроля безопасности потенциально опасных производств и скоординировать усилия всех заинтересованных сторон таким образом, чтобы статистика катастрофической аварийности не коснулась гидроэнергетики России.

Участие страховщиков в вопросах обеспечения нормативной безопасности напорных сооружений гидроэнергетики следует из положений Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117-ФЗ, которые обязывают их владельцев нести правовую и финансовую ответственность за соблюдение условий безопасной эксплуатации и возмещение ущерба жизни, здоровью и имуществу третьих лиц, пострадавших в результате аварии.

Формирование финансового обеспечения ответственности за счет страхования наиболее оптимальным образом соответствует имущественным интересам владельцев гидротехнических сооружений, поскольку полностью освобождает их от законодательно обоснованного резервирования денежных средств в размере полного ущерба и необходимости производить компенсационные выплаты пострадавшим от аварии, величина которых может составлять сотни миллионов рублей - что несопоставимо с реальной платежеспособностью большинства действующих предприятий энергетики.

Кроме того, экономические механизмы страхования способствуют выявлению проблемных зон систем безопасности гидротехнических сооружений и минимизируют последствия их негативного проявления за счет разработки и реализации программ превентивных мероприятий.

Парадокс страхования заключается в том, что чем больше внимания уделяется независимому контролю взятому на страхова-

ние риска, тем меньше вероятность наступления самого нежелательного события.

Вместе с тем уровень капитализации и специализация страховой компании должен соответствовать масштабам риска, принимаемого на страхование.

Открытое акционерное общество «Страховая акционерная компания «Энергогарант» была создана в 1992 г. крупнейшими энергосистемами России и РАО «ЕЭС России». Объемы, профессионализм и качество оказания страховых услуг предприятиям различных отраслей и масштабов деятельности позволили Компании занять лидирующие позиции в первой десятке страховых компаний России. При этом наибольший удельный вес в структуре страхового портфеля занимают крупные промышленные риски и страхование гражданской ответственности. Благодаря взвешенной страховой политике, проводимой Компанией, ее финансовое состояние стабильно и устойчиво. Так фактический размер свободных активов составляет 141 млн. рублей, что на 15 % превышает нормативный уровень. Страховые резервы в настоящее время сформированы в размере 692 млн. 109 тысяч рублей, сумма страховой премии за 1999 г. — 830 млн. рублей. Выплаты страхового возмещения клиентам Компании, например, в 1999 г. составили более 310 млн. рублей.

Учитывая изложенное, страховая компания «Энергогарант» оказалась психологически и технологически готовой к принятию на страхование гражданской ответственности владельцев гидротехнических сооружений за вред, причиненный в результате аварии.

Разработав для целей практического страхования ответственности владельцев гидротехнических сооружений «Правила страхования» и осуществив ряд пилотных проектов, Компания первой получила лицензию на этот вид страховой деятельности.

В настоящее время под страховой защитой находится 16 владельцев гидротехнических сооружений. Текущий объем ответственности составляет около 700 млн. рублей.

Практика страхования выявила ряд проблем, касающихся, наверное, большинства страховых компаний.

Первое — обоснование страховой суммы.

Страховая сумма в договоре страхования, предлагаемом компанией «Энергогарант», устанавливается равной максимальной величине ущерба из всех соответствующих величин, рассчитанных по наиболее тяжелому сценарию эскалации аварии для каждого ГТС.

В настоящее время существует несколько методик идентификации опасностей и количественного расчета связанного с ними экономического ущерба.

При отсутствии единого стандарта отрасли по этому вопросу обоснование размера ущерба, подтверждающего страховую сумму в договоре страхования, затруднительно.

Неопределенность возможности потерь не позволяет в полной мере реализовать экономические механизмы страхования, а страхование в этих условиях сводится к обычной формальности.

Второе — страховой тариф, который представляет собой расходы владельца по договору страхования.

При определении размера тарифа во внимание принимаются следующие факторы: аварийность ГТС; величина ущерба в финансовом измерении; доля расхода в себестоимости электроэнергии; емкость рынка страхования гражданской ответственности.

Анализ текущего риска аварии и оценка уровня безопасности ГТС проводится при их декларировании.

Уникальность современных напорных энергетических сооружений, отсутствие необходимого опыта в ряде случаев не позволяют достоверно выразить качественный характер факторов безопасности в количественном выражении. Это существенно усложняет возможность всесторонней оценки принимаемого на страхование риска аварии.

В вопросах полного объективного выявления существующих сценариев аварий, оценки приемлемости риска, формирования мер по предупреждению аварий и снижения их вероятности страховая компания «Энергогарант» предпочитает рассчитывать на потенциал базовых научно-исследовательских институтов отрасли.

Наконец, гарантии надежности страховых выплат. Владельцы гидротехнических сооружений должны определенно понимать, что объемы ответственности в денежном выражении столь значительны, что не могут быть оставлены на собственном удержании даже лидерами страхового рынка.

Согласно правилам Росстрахнадзора риск должен быть перестрахован в других страховых компаниях. Вместе с тем, российский страховой рынок, как известно, имеет ограниченную емкость. Практика обращения к западным перестраховочным компаниям показала, что последние пока воздерживаются от участия в рассматриваемых рисках, ссылаясь на объективные сложности проведения независимого сюрвейера (предстрахового обследования объекта страхования) по западному стандарту.

Удовлетворение требований зарубежных перестраховщиков привело бы к существенному увеличению страхового тарифа.

По инициативе компании «Энергогарант», в целях обеспечения оперативных выплат значительных сумм страхового возмещения

и сохранения при этом собственной финансовой устойчивости, в 1999 г. был создан Российский пул страхования риска гражданской ответственности владельцев гидротехнических сооружений. Совокупные организационные и финансовые возможности участников пула — ведущих страховых компаний топливно-энергетического комплекса — позволяют в полном объеме гарантировать выплаты страхового возмещения.

В заключение необходимо отметить, что страхование не решает всех накопившихся в гидроэнергетике проблем. Однако разумное и осознанное применение экономических механизмов страхования, как показывает и зарубежная практика, позволит существенно уменьшить или избежать риска аварии, непозволительного в условиях наметившегося изменения топливного баланса электроэнергетики и роста энергопотребления.

ДЕКЛАРИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Вахромеев А.К., Троицкий А.В., инженеры
(АО «Институт Гидропроект»)*

Несмотря на то, что основные положения декларирования безопасности проектируемых и строящихся гидротехнических объектов прописаны в правилах, утвержденных приказом Минэнерго № 237 от 12.07.99 г., первый опыт составления деклараций для таких объектов выявил ряд особенностей, свойственных этому этапу декларирования. В первую очередь необходимо отметить следующее: декларация безопасности проектируемых объектов — это, по сути дела, базовый документ в ряду последующих этапов декларации. На этом этапе впервые, еще для несуществующего объекта, выявляются основные факторы опасности, устанавливаются уязвимые места сооружений, определяются критерии безопасности, прогнозируются возможные последствия гидродинамических аварий.

Вместе с тем, этот этап декларирования базируется только на данных проектных проработок и данных эксплуатации объектов-аналогов; наблюдений за сооружениями еще нет, а есть только прогнозы их поведения.

Из всех элементов проекта наиболее значимым для безопасности является назначение класса гидротехнических сооружений. От класса зависят, по сути дела, все параметры, определяющие безопас-

ность сооружений. Хотя назначение класса — это дело разработчика проекта, при составлении декларации могут открыться новые аспекты, влияющие на назначение класса.

Одной из особенностей декларации безопасности проектируемых объектов является необходимость анализа безопасности сооружений в период их возведения, в строительный период. Это совершенно отдельный аспект проблемы, практически не имеющий методических проработок. Однако рассматривать его нужно, поскольку на практике может возникнуть ситуация, когда законченное сооружение достаточно надежно, а его строительство может привести к чрезвычайным ситуациям.

О критериях безопасности. В декларации безопасности проектируемых объектов критерии безопасности или критериальные показатели состояния сооружений и его основания целесообразно увязывать с нагрузками. При этом отдельные величины критериев необходимо вводить для основного и для особого сочетания нагрузок.

В декларации следует устанавливать следующую взаимосвязь: нагрузка — критерий безопасности (K1 — нормальное состояние, K2 — предельный уровень) — проектный способ определения критерия.

Такая связка позволяет проиллюстрировать весь набор элементов, определяющих безопасность сооружений.

Опыт разработки декларации для проектируемых объектов выявил ряд проблем, которые требуют решений на директивном или нормативном уровне. Это относится, в частности, к вопросу регламентации риска аварийной ситуации с чрезвычайными последствиями. Можно для разнообразных сценариев аварий рассчитать вероятность, однако оценить эту величину пока невозможно.

В России к настоящему времени не определен порядок регламентации риска аварийных ситуаций для гидротехнических объектов, и это делает расчеты вероятности незавершенными. Проектировщики всегда с чем-нибудь должны сравнивать результаты своих расчетов, а в расчетах вероятности аварий это пока делать нельзя. На практике приходится все же проводить сравнения: либо со среднестатистическими показателями, либо с нормативами риска Европейских стран, либо с нормативами других ведомств. Здесь уместно сообщить, что, например, в Голландии законодательством установлено: при техногенных авариях максимально приемлемым уровнем индивидуального риска преждевременной смерти принята величина 10^{-6} в год, пренебрежительно малым считается уровень 10^{-8} в год.

Для факторов, которые приводят не к преждевременной смерти, а к отдаленным последствиям, приняты такие же нормы.

Максимально приемлемым уровнем риска для экосистем считается тот, при котором может пострадать 5 % видов биоценозов.

В отечественной атомной энергетике действуют нормы радиационной безопасности (НРБ), утвержденные Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 19.04.97 № 7, в которых определено: предел индивидуального риска для техногенного облучения лиц из персонала принимается $1,0 \times 10^{-3}$ за год, а для населения — 5×10^{-5} за год. Уровень пренебрежительно малого риска разделяет область оптимизации риска и область безусловно приемлемого риска. Величина этого уровня составляет 10^{-6} за год.

Конечно, работу по регламентации риска для гидротехнических сооружений нужно делать не спеша, не ломая общей системы проектирования. Но работать в этом направлении необходимо, иначе гидротехники могут отстать от коллег, работающих в других областях.

Несколько слов о порядке разработки и представления декларации безопасности по проектируемым объектам. Согласно «Положения о декларации безопасности гидротехнических сооружений» (от 6.11.98. № 1303) «декларация безопасности проектируемых и строящихся сооружений составляется юридическим лицом или физическим лицом, выполняющим функции заказчика»; (п. 4), и «декларация безопасности проектируемых гидротехнических сооружений представляется в орган надзора в период проведения государственной экспертизы проекта» (п. 10).

Другими словами, на момент представления декларации проект еще не рассмотрен государственной экспертизой и не утвержден. Вряд ли заказчик возьмет на себя смелость составлять и подписывать декларацию, составленную по неутвержденному проекту.

Учитывая особое место декларации проектируемых объектов в процессе декларирования, более правильным было бы включить декларацию в состав проекта за подписью главного инженера проекта, рассматривать ее в государственной экспертизе наравне с другими документами проекта и утверждать заказчиком после рассмотрения и корректировки по замечаниям экспертизы. И уже в органы надзора декларация должна представляться по материалам прошедшего экспертизу и утвержденного проекта.

В заключение хочется отметить, что для грамотного и квалифицированного составления декларации безопасности проектируемых объектов было бы полезно разработать специальную методику или рекомендации, в которых необходимо отразить специфику и особенности декларации безопасности проектируемых объектов.

СЦЕНАРИЙ ОТКАЗОВ БЕТОННЫХ ПЛОТИН И ИХ УЧЕТ ПРИ ДЕКЛАРИРОВАНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ

*Калустьян Э.С., доктор технических наук
(ЦСГНЭО - филиал АО «Институт Гидропроект»)*

В течение последних трех лет гидроэнергетическая отрасль функционирует в условиях действия ФЗ № 117 от 1997 г. «О безопасности гидротехнических сооружений». За этот период в РАО «ЕЭС России», крупнейшей мировой компании по производству электроэнергии, по данным публикаций в средствах массовой информации неизвестно наличие каких-либо серьезных отказов, которые подходят под определение «крупная техногенная катастрофа». Это неплохо. Меньшая реализация потенциальных рисков в данной области по сравнению с другими областями имеет физическую природу и связана, по моему мнению, с длительностью этапа совершенствования. Для энергосистем, для ГТС — этот этап совершенствования существенный: он достигает 100 лет. Это значительно выше по сравнению с производствами, основанными на более молодых технологиях. Тем не менее, не все благополучно и в нашей области тоже. Известно, что избыточное резервирование надежности не всегда является гарантией длительной надежности сооружения. В мировой практике гидроэнергетики не случайно обратились к изучению случаев реализованного риска отказов. Мы очень часто говорим о «рисках», но определение этого чисто вероятностного термина — что вызывает различные толкования — у нас до сегодняшнего дня нет. В этом плане мы с интересом ожидаем материалы XX конгресса по большому плотинам, который на этой неделе проходит в Пекине, где тема риска рассматривается в вопросе 76.

Мне кажется, что это направление у нас, как может быть и в других странах, в настоящее время больше держится на энтузиазме отдельных специалистов. У нас в течение десяти-пятнадцати лет использовалось понятие «надежность». Мы определили, что сооружение надежно на 99 или 98 %. Сегодня этот термин, хотя до конца понятие «надежность» так и не раскрыто, заменен на термин «риск», и необходимо, наверное, раскрыть содержание этого термина. Это очень важно для обеспечения эксплуатационной надежности гидросооружения.

Это направление, эта область, по моему мнению, является перспективной в смысле экономии в части материальных затрат в будущем на сооружение гидротехнических сооружений, строительство

которых несомненно будет продолжаться. Мы длительное время занимаемся анализом надежности или риска с использованием данных статистики отказов плотин по многофакторной методике, и получили некоторые интересные результаты. Так, за прошедшее столетие технический риск аварий плотин снижен, и в настоящее время он составляет от 0,1 до 1%: 0,1 % — это риск отказов, разрушений бетонных плотин, 1 % — это риск отказов, разрушений грунтовых плотин. Вместе с тем, социальный риск находится как бы в противоречии с этими данными, т.е. при уменьшении технического риска и повышении надежности наших сооружений получается, что количество жертв возросло более чем в 2 раза. Это довольно интересный факт.

Не менее интересным представляется установленный факт зависимости риска (при действии несистематических факторов) от географического положения объекта. Мы попробовали проанализировать риски как внешних воздействий, независимых, так и факторов, которые определяют реакцию сооружения. Данные свидетельствуют о том, что почти 80% всех случаев находятся в области действия нагрузок в пределах нормального подпорного уровня, т.е. фактор старения, как бы мы не хотели, будет все время действовать. Эти данные за период XX столетия.

Наши исследования позволили установить статистические данные по риску: самый высокий риск оценивается величиной $0,35 \cdot 10^{-3}$ и он характерен для эксплуатации на начальном этапе; все последующие риски, связанные с паводками, землетрясениями и другими негативными явлениями, составляют $0,35 \cdot 10^{-4}$, и общий риск составляет $0,45 \cdot 10^{-3}$ за весь период эксплуатации. Если взять эксплуатацию сооружений с 50-х годов, то можно заметить, что управление безопасностью в плотиностроении было эффективным в этот период. До 30-х годов количество разрушившихся плотин резко возросло и достигало чуть ли не 12 % и более. Сегодня же эта величина существенно снижена за счет того, что мы резервируем воздействия путем повышения соответствующих показателей как сооружения, так и основания. Но ведь есть граница, и где-то с избыточным резервированием следует остановиться. Сейчас идет очень полезная работа по декларированию, и мне кажется, что для такой крупной компании, как РАО «ЕЭС России», интересно бы было оценить реальные риски, характерные для территории России. А у России есть определенные характерные условия - это северные климатические условия и другие моменты, которые могли бы нам выбрать реальный сценарий. Сценарий следует рассматривать с технической характеристики, т.е. с того воздействия, которое мы принимаем

в качестве расчетного или экстремального, и той реакции, на которую рассчитывается сооружение. Без таких данных говорить об оценке реальных рисков просто несерьезно. Представляется, что выполнение такой работы конкретно для условий Российской Федерации, для тех сооружений, которые эксплуатируются РАО «ЕЭС России», было бы интересным.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ «МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»

Беллендир Е.Н., доктор техн. наук (ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»), Иващенко И.Н., кандидат техн. наук (АО НИИЭС), Новожинов В.Д., кандидат техн. наук (АО «Институт Гидропроект»)

Сегодня рассматриваются 2 методики: «Методика определения критериев безопасности гидросооружений» и «Методика оценки ущерба, возможного вследствие аварии». И та, и другая методики разработаны в соответствии с решениями совместного заседания НТС, о котором уже упоминалось, и который состоялся в сентябре 1999 г. Я буду говорить о первом документе.

На том же заседании научно-технического совета РАО было решено, что работу над «Методикой» будет вести рабочая группа во главе с В. Д. Новожиновым. Этому предшествовали исследования, которые были выполнены параллельно в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» и в АО НИИЭС. К тому времени было два документа. В задачу рабочей группы входило сблизить позиции этих организаций и подготовить единый документ. Рабочая группа работала очень интенсивно: прошло пять заседаний, причем в работе участвовали, кроме названных организаций, специалисты из ОАО ПИИ «Ленгидропроект», ОАО «Саяно-Шушенская ГЭС», ОАО «Фирма ОРГРЭС», ОАО «Институт Теплоэлектропроект», в общем, порядка 14–15 специалистов, причем половина из них — это доктора наук, самые видные специалисты в этой области. Таким образом, это по существу не первая, а шестая редакция, не считая работы чисто редакционного плана.

Каков состав «Методики»? Во введении дается терминология — она пока не устоялась, много споров было по этому поводу. Половина терминов взято из Закона, половина терминов совершенствовались и согласовывались в ходе работы комиссии. Я об этом сейчас говорить не буду. Я думаю, что это тема отдельного обсуждения и может быть отдельного нормативного документа. Может нам стоит это в Реше-

ние записать. Что включает этот документ кроме терминологии? Имеется раздел, где рассматривается порядок назначения критериев безопасности, последовательность действий, которые надо совершить на стадии проектирования и эксплуатации, чтобы такие критерии появились. Введен совершенно новый раздел по сравнению с ранее имевшимися документами: он посвящен рекомендациям по разработке прогнозных математических моделей. Введен еще один новый раздел, который относится к разработке качественных характеристик состояния сооружения и условий эксплуатации. Есть раздел, посвященный организации натуральных наблюдений и введен весьма важный раздел, который касается организационных вопросов, т.е. что надо делать, какие действия надо предпринять, если те или иные критерии нарушаются или не выполняются.

Кроме того, есть четыре приложения: одно — очень важное приложение, которое также разработано в соответствии с решением НТС и касается порядка разработки и утверждения критериев безопасности органом надзора.

Второе приложение посвящено рекомендуемому перечню контролируемых показателей состояния, для которых, собственно, эти критерии и должны назначаться.

Далее, есть очень краткий раздел, посвященный оценке результатов наблюдений, т.е. оценке риска как в вероятностной, так и в детерминистической постановке. Поскольку это положение — вообще этот подход — вызывает очень много споров и на эту тему имеется ряд документов, то этот раздел изложен очень кратко в виде самых общих рекомендаций. Далее, впервые введена таблица, где перечислены методы, которые рекомендуется использовать для того, чтобы определить критерии безопасности.

Заканчивая вводную часть, я не могу не упомянуть о том, что ряд положений документа вызывали на заседаниях рабочей группы споры. Большинство членов комиссии считает, что исходя из рекомендаций закона, исходя из практики, которая сложилась в нашей стране, необходимы, по крайней мере, два уровня критериальных значений контролируемых показателей состояния. С этой позицией не согласен один из членов комиссии, но самый главный, именно В. Д. Новожегин. Его аргументация сводится к тому, что в определении критериев безопасности, которые даны в Законе, указывается, что критерии должны соответствовать допустимому уровню риска. Он трактует эту формулировку следующим образом: этот уровень риска задан, и поэтому уровень критериев должен быть только один. С этим остальные члены комиссии не согласны, и дальше я расскажу почему.

Что это за два уровня критериев безопасности? Первый уровень — когда все контролируемые показатели состояния ГТС (результаты наблюдений за фильтрационным режимом, напряженно-деформированным состоянием, за гидравликой, вообще за всеми процессами, которые происходят в эксплуатируемом сооружении) отвечают нормативным требованиям. Однако, и в общем это соответствует идеологии действующих норм и тех подходов, которые исповедуются в нашей стране, когда один или даже несколько контролируемых показателей превышают этот уровень, ничего страшного еще, в общем-то не происходит: эксплуатация продолжается, но при этом должны быть приняты, конечно, какие-то меры, достаточно срочного порядка, с тем чтобы итоговая вероятность аварии — а она ведь, как известно, зависит от длительности периода, для которого она рассчитывается, — не превышала допустимого уровня риска. По существу весь остальной текст полностью удовлетворяет всех членов комиссии, включая ее председателя, а вот этот пункт вызвал споры, и я все-таки счел необходимым точку зрения В. Д. Новоженина, который, к сожалению, отсутствует, все-таки изложить. Вот такова преамбула.

Поначалу «Методика» выглядела очень пухлым, очень толстым документом: там было почти 200 страниц. Но членов комиссии было много, и каждый внес очень значительный вклад. В итоге, поскольку это должен быть рабочий документ, который предназначен для практикующих специалистов, многие очень важные разделы, к сожалению оттуда изъяты: они касались примеров, детальных расчетов, разных подходов, было много примеров, которые касались и бетонных, и грунтовых гидротехнических сооружений. Вот это, к сожалению, в данной «Методике» отсутствует. Кроме того, были еще рекомендации, которые посвящены детальному разбору, а именно: как для разных наблюдений, для разных контролируемых показателей назначать критерии. Это осталось за бортом «Методики». И я предложил бы в решение Совещания записать о выпуске дополнительного документа, типа комментария, типа пособия, который бы развивал эти положения, поскольку этот документ новый. Вы знаете, что ранее действовали «Рекомендации», которые были в 1986 году разработаны в АО «Институт Гидропроект», в его Научно-исследовательском секторе. Конечно, с той поры у нас накоплен опыт, как и за рубежом. Этот опыт учтен в документе.

Далее рассматриваются процедура назначения критериев безопасности и основные положения порядка разработки и назначения критериев

риев безопасности, т.е. того документа, которым будет руководствоваться орган надзора при утверждении критериев безопасности.

Общая схема представлена на рис. 1. Это относится к стадии проекта. В соответствии с критериальными условиями норм определяются параметры сооружения, его геометрические размеры. Далее блок, который касается поверочных расчетов. Предполагается, что такие расчеты у нас есть, они достаточно достоверны. В этой «Методике» есть указания, что если мы уверены в достоверности расчетных моделей, то это является основным методом назначения критериев безопасности. Расчет осуществляется на две группы воздействий. В чем тут идея? Эти группы воздействия отвечают разной обеспеченности: более редкие воздействия и менее редкие воздействия. Это соответствует идеологии норм. Но поскольку, как я уже упомянул, вероятностные методы не регламентированы в наших нормах, и у разных специалистов имеются разные точки зрения по этому поводу, мы придумали такой способ, который согласуется с действующими нормами: то есть берутся особые и основные сочетания нагрузок. И вот на эти сочетания нагрузок сооружение, которое запроектировано в соответствии с критериальными условиями норм, рассчитывается. Далее по результатам расчета оцениваются те зоны, которые нас интересуют, назначаются контролируемые показатели состояния. В итоге работы, которая ведется на стадии проектирования, выдается таблица критериев: на две группы воздействий определяются два уровня критериев для контролируемых показателей состояния.

Далее наступает стадия эксплуатации (рис.2). Соответственно практике, которая всем известна, на стадии эксплуатации с учетом данных натурных наблюдений, с учетом опыта эксплуатации уточняются критерии безопасности, уточняется информация о поведении сооружения, осуществляется калибровка модели. Об этом у нас сегодня специальный доклад. Я на этом останавливаться не буду, но в соответствии с основной посылкой, о которой я говорил, в основе назначения критериев лежат расчеты, и если мы добились того, что калиброванные модели удовлетворительно описывают поведение сооружения, то на их основе собственно и назначаются критериальные значения: они показаны на рисунке. Два уровня: один уровень, второй уровень. А вот две линии соответствуют тому, что в разных зонах нагружения, в разных зонах сооружения по-разному и в разной степени материал сооружения отстоит от предельного состояния. Поэтому эти критериальные значения, если, например, говорить, о напряжении в бетоне, — это не обязательно прочность бетона.

Таким образом, вводятся два критерия и этим двум критериям должны удовлетворять контролируемые показатели состояния и, кроме того, они должны попадать в прогнозируемый интервал. Вот, пожалуй, основная идеология этого документа в таком кратком изложении.

Что же надо делать, когда эти критерии нарушаются? Этому посвящен специальный раздел, где говорится, что если первый уровень критериальных значений нарушается, один или несколько показателей вышли за эти пределы или нарушен прогноз и за пределы доверительного интервала вышли контролируемые показатели, то никаких существенных ограничений на условия эксплуатации не вводится, (снижение уровня верхнего бьефе или вообще прекращение эксплуатации), а выполняется анализ данных натуральных наблюдений, проверяется состояние сооружения теми методами, которыми мы владеем: либо уточняются критерии, либо предпринимаются мероприятия технического и организационного характера, которые не позволяют этому процессу дальше развиваться. Если эти мероприятия не привели к успеху и продолжается развитие опасных процессов, достигается второй уровень или приближается к нему, то это уже ситуация предаварийная. И в соответствии с требованиями закона эксплуатирующая организация или собственник должны проинформировать органы надзора, и дальнейшая эксплуатация должна осуществляться уже под руководством органа надзора. Так записано в Методике». Вот, пожалуй, основные положения этого методического документа в кратком изложении.

Теперь я хотел бы остановиться на приложении 1, которое регламентирует порядок разработки и утверждения критериев безопасности. Раздел короткий, но его суть в том, что критерии безопасности должны разрабатываться для разных стадий: стадии проекта и стадии эксплуатации. Критерии безопасности в обязательном порядке должны пересматриваться, переутверждаться: во-первых, в случае существенных изменений норм; во-вторых, в случае, если произошли какие-то существенные опасные для сооружения явления.

В приложении подчеркивается, что в соответствии с требованиями Федерального закона о безопасности, все критерии безопасности подлежат утверждению в органе надзора. Перечисляются те документы, которые надо представить при этом. К их числу относятся: перечень контролируемых показателей, схема размещения контрольно-измерительной аппаратуры, таблица с этими критериями. И далее говорится о том, что, как правило, критерии безопасности должны представляться на стадии проекта, конечно, одновременно

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ГТС

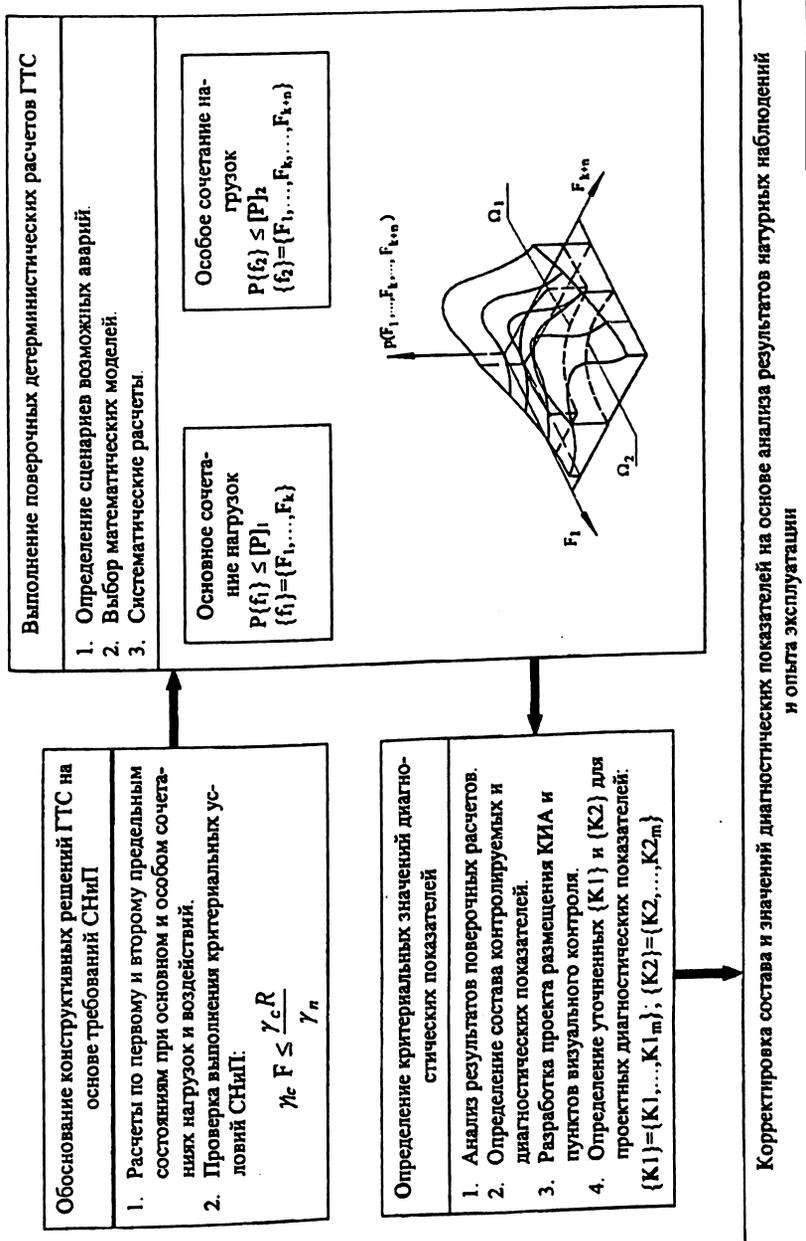
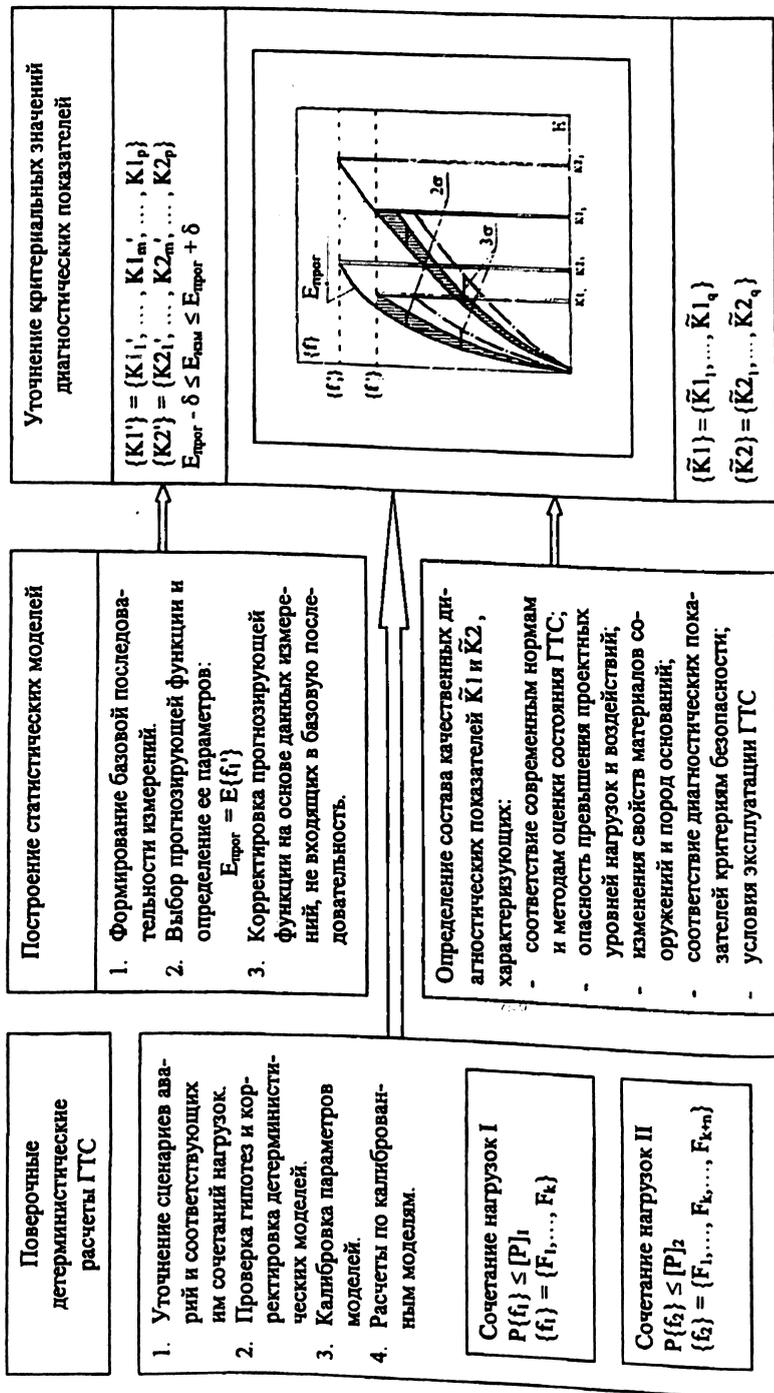


Рис.1.

Корректировка состава и значений диагностических показателей на основе анализа результатов натурных наблюдений и опыта эксплуатации



с проектом, а на стадии эксплуатации — одновременно с представлением декларации безопасности. Рассматриваются и утверждаются они тоже одновременно с декларацией безопасности.

И в заключение, я хотел бы сказать, что в соответствии с регламентом работы этой группы, документ был отправлен на отзывы в 12 организаций: это ведущие наши научные и проектные организации, тепловые станции, гидравлические станции, АО «Энерго». Получены отзывы то АО «Черепетская ГРЭС», ОАО «Фирма ОРГРЭС», АО «Саяно-Шушенская ГЭС», АО «Верхне-Волжская ГЭС» и АО «Волжская ГЭС» (Волгоград). Все отзывы положительные. Причем, в сопроводительном документе, отправленном за подписью Б.П. Варнавского, руководителя Главгосэнергонадзора, мы просили рассмотреть две точки зрения - один или два уровня? Во всех пяти полученных отзывах поддерживается точка зрения большинства членов комиссии. Сам документ подписан тремя организациями АО НИИЭС, ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» и АО «Институт Гидропроект».

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Храпков А.А., доктор техн. наук, Дурчева В.Н., кандидат техн. наук
(ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)*

Я хочу представить сообщение В.Н. Дурчевой и мое, весьма скромное по объему и по набору идей, которые в нем содержатся. Тем не менее, надеюсь, что оно будет определенным образом продолжать сказанное в докладе руководителя разработки методики по определению предельно допустимых значений (ПДЗ) И.Н. Ивашенко. Но одновременно и оттенит некоторые нюансы, свойственные пониманию этой методики и вообще всего этого процесса в целом специалистами ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» по бетонным сооружениям и, главным образом, по бетонным плотинам на скальном основании.

Мы активно участвовали в разработке методики, согласовали текст, и руководство института в лице первого заместителя генерального директора Е.Н. Беллендира подписало этот документ. Таким образом, мы стали соавторами и полностью лояльны духу и букве этого документа. Как вам известно, при подписании любого документа стороны всегда говорят «при том понимании». И вот я расскажу, при каком понимании.

Каковы же нюансы реальных процедур назначения ПДЗ и их практического использования для бетонных плотин, главным образом для бетонных плотин на скальном основании и, может быть, в более широком контексте, бетонных и железобетонных конструкций ГЭС?

Основное приложение — это приложение 4, очень важное, с нашей точки зрения, хотя и рекомендуемое: оно трактует вопросы, связанные с определением критериальных значений K_1 и K_2 показателей состояния ГЭС. Всего имеется 17 позиций, из которых для бетонных плотин на скальных основаниях представляются наиболее важными следующие.

Пункт 7 — горизонтальные перемещения сооружений и их оснований. За последние, наверное, лет 25 (я думаю, что этот период начался наблюдениями на Красноярской ГЭС) очень отчетливо фиксировались смещения гребня ряда плотин. В то время еще не было необходимости в такой практике — вычислять заранее перемещения в проекте, и их пытались определить методом сопротивления материалов, но оказалось, что это совершенно не те смещения, и еще быстро выяснилось, что фактические смещения очень стабильно изменяются во времени. Именно изучение смещения гребня бетонной плотины позволило достаточно ясно вскрыть природу температурного фактора, его роль в формировании напряженно-деформированного состояния и построить регрессионные зависимости, которые теперь в России считаются общепринятыми (а до нас их уже сравнительно давно применяли португальцы, французы, итальянцы, но надо было прочувствовать, как говорят, на своей шкуре). Все эти зависимости тоже уходят корнями в изучение плановых смещений бетонных плотин на скальном основании. Подчеркиваю, что наблюдается стабильно изменяющийся параметр, который легко контролируется и интегрально вбирает в себя, грубо говоря, все поведение сооружения.

Пункт 8 — напряжения в сооружениях и их основаниях, включая бетон, арматуру, грунт, скалу. Здесь я тоже попытаюсь сделать свои комментарии. Если взять плотину высотой 25, 30, 40 м и даже 100 м — таково подавляющее большинство наших сооружений, бетонных плотин на скальном основании, — то вначале с удивлением (а потом уж будем к этому относиться как к данности, как к известному факту) обнаружим, что растягивающие напряжения просто не зафиксировать, мы просто будем наблюдать раскрытие каких-то швов и трещин. Я лично не знаю, кто и когда зафиксировал четко и ясно с помощью приборов величину растягивающего напряжения

в бетонной кладке. Далее в нормах принято, что прочность на сжатие — это ключевой пункт, но мы обнаружили, что при назначении марки бетона, например, по водонепроницаемости, морозостойкости, бетон для таких бетонных плотин будет иметь априорный запас прочности, поскольку сжимающие напряжения составляют $15 - 20 \text{ кг/см}^2$ при марке материала $200 - 250$. Оценка подобных сжимающих напряжений ничего не дает. Следует еще раз подчеркнуть, что все вышесказанное относилось к плотинам высотой до 100 м . С появлением гигантской Саяно-Шушенской плотины высотой 242 м и пролетом по гребню длиной 1074 м , о которой много пишут, много говорят и о ней будет доклад, выяснилось, что у нее-то напряжения на сжатие все ползут и ползут вверх, и мы наблюдаем за этим с определенными опасениями: они таковы, что осталось немного времени до срока достижения назначенного экспериментаторами — после тщательного и всестороннего испытания бетона — критерия, равного $12,6 \text{ МПа}$, т.е. не такой уж большой запас остался. Поэтому в определенных случаях, например для высоких арочных плотин, этот критерий, конечно, приобретает серьезный смысл.

Я сознательно опускаю концовку пункта 8 «контактные напряжения», потому что при всей его грозной значимости и очень серьезном месте, отведенном ему в нормах, по нашему мнению, ничего особенного с напряжениями на контакте не происходит. Чуть позже я скажу (хотя ничего нового не открою), что происходит и за чем следует наблюдать.

Следующий пункт 9 — углы поворота характерных сечений бетонных и железобетонных сооружений. Мы придаем этому пункту очень серьезное значение. Л.А. Гордон — убежденный сторонник гидронивелиров, и я тоже разделяю это мнение. ВНИИГовские специалисты к ним относятся очень внимательно. Впервые я столкнулся с этим на Саяно-Шушенской ГЭС. Сначала тоже было непонятно — показываются какие-то секунды, потом (когда разобрались и построили графики в зависимости от времени), выяснили, что это чрезвычайно стабильная характеристика, скачкообразное изменение которой буквально на несколько секунд немедленно фиксирует появление трещин в плотине. Это прибор, к показаниям которого следует относиться исключительно внимательно, назначая ПДЗ.

Далее пункт 10 «раскрытие трещин и межблочных швов», чрезвычайно серьезный пункт — это центральный пункт нашего сообщения. Будем говорить также и о глубине раскрытия трещин по контакту бетонной плотины со скальным основанием — это пункт 11.

Я считаю себя обязанным отразить точку зрения В.Н. Дурчевой и свою на эти две позиции. Все это уходит очень глубоко, примерно в конец 60-х годов, когда С.Я. Эйдельман, установивший несколько длиннобазных приборов на подошве станционных секций плотины Братской ГЭС, обнаружил, как это ни странно, в противоречие всем основным положениям тогдашних норм 123-60, что контакт раскрывается, хотя ему было категорически запрещено раскрываться. Следующий этап — 1977 год, когда составлялись и редактировались в Госстрое СССР нормы 2/54 — 77 «Бетонные и железобетонные плотины. Нормы проектирования» и встал вопрос: что с этим делать? Стало ясно, что нормировать растягивающие напряжения нельзя, потому что уже тогда теория трещин вошла в силу, все занимались расчетами с позиций разрушения и видели, что имеется особая точка на стыке верховой грани с основанием, где напряжения теоретически возрастают до бесконечности. И если даже пытаться брать метр или два от грани, это ничего не дает — напряжения значительно больше, чем прочность бетона на растяжение. Тогда было решено нормировать величину зоны проникновения растягивающих напряжений вглубь тела плотины и по контакту. С тех пор это вошло в нормы, которые были подписаны в Госстрое в 1977 г., и ими мы пользуемся 23 года, их знают специалисты, мне много вопросов по этому поводу задавали китайские коллеги. Есть в отношении этих норм и очень серьезная критика. Здесь на совещании присутствуют уважаемые специалисты, в том числе А.Н. Марчук, который неоднократно писал и выступал на совещаниях о том, что неправильные это правила, что это приводит к безобразиям в плотинах, фильтрации и т.п., но тем не менее мы вот уже 23 года сохраняем свою компромиссную линию, которая заключается в том, что если полностью исключить глубину зоны растяжения, положить ее равной нулю, то очень серьезно зависим объем бетонных плотин, грубо говоря, на 10–15%, *что по нашему мнению не вызывается необходимостью*. Потому что если бы все находилось в рамках нормативных требований, например, распространялась бы зона растяжения на 3–4 м, то ничего бы с плотинами не происходило. Другое дело, что при реальном проектировании, а тем более строительстве, при очередности возведения — это тема очень длинная и я не буду отвлекать ваше внимание — нормы очень существенно нарушаются: глубины зоны растяжения, предписанные проектом и нормативным документом, изначально очень существенно увеличиваются на практике, что мы и наблюдаем на Саяно-Шушенской ГЭС, где глубина зоны

растяжения составляет не какие-нибудь несколько метров, а на весь первый столб, то есть на 20 м с лишним. Поэтому это один из основных показателей, и к назначению ПДЗ этого показателя надо относиться чрезвычайно ответственно.

Есть еще и качественный показатель, который мы в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» называем «топография трещин». С моей точки зрения, требуется стабильность этого качественного показателя, а вы опытные люди и прекрасно знаете, что трещины в плотине образуются во время строительного периода в массовом порядке и что это трещины температурного происхождения. Есть атлас, составленный В.П. Шкариным, широко известным специалистом из Оргэнергостроя, по бетонной плотине Братской ГЭС. Есть такой же атлас, еще более подробный, составленный Л.И. Маркиным (Сибфилиал ВНИИГ) по плотине Саяно-Шушенской ГЭС и т.д. И на любой плотине, если бы все-таки занялись наблюдениями в строительный период, обнаружили бы тысячи трещин - это общеизвестный факт, это данность.

Что же надо делать с данностью? Надо за ситуацией внимательно следить. Если трещины дальше не развиваются, надо их зафиксировать, ввести в состав качественных показателей топографию трещин и главное, чтобы они не росли дальше. Специалисты ВНИИГ этой позиции придают очень большое значение.

Если же далее говорить о нюансах нашего понимания, то они сводятся к тому, что все предпосылки определения показателей на стадии проекта могут, как показала практика, весьма существенно отличаться от тех реалий, которые ожидают сооружение из-за очень сложного процесса возведения, многоэтапного нагружения и т.д. Поэтому все-таки идеология ВНИИГ гласит: основной упор - на корректировку (новое назначение или обновление, неважно как это назвать) всех этих показателей для бетонных плотин, во всяком случае на начальной стадии эксплуатации.

Еще хочется отметить некоторые вещи.

О регрессионном анализе. Мы считаем его роль просто исключительной. И надо сказать, что несмотря на колоссальное количество работ по регрессионному анализу: защищенных диссертаций, публикаций и в ГТС, и в Известиях ВНИИГ, и в материалах международных конгрессов, до сих пор, когда назначается определенными методами регрессионного анализа так называемый коридор безопасности, всякий раз возникают проблемы. Например, плановые смещения на гребне. Они обязательно должны находиться в зависимости от температуры, уровня бьефа и т.д. Но проходят годы, и этот коридор мы все время вынуждены менять и менять, корректиро-

вать и корректировать. К сожалению, в ряде сооружений все время идут в большей или меньшей степени необратимые перемещения. Ясна ли их природа до конца? Осмелюсь заявить, что не ясна. Я ни разу не слышал сколько-нибудь четких, обоснованных, подтвержденных натурными данными предположений об их развитии, хотя некоторые причины, конечно, можно отметить. Таким образом, остается одна единственная возможность — регрессионными зависимостями пользоваться и время от времени их обновлять в соответствии с тем, как изменяется ситуация.

О влиянии немонолитности плотины. Безусловно, плотины наши немонолитны : они состоят из столбов, блоков и т.д., и это их определенное свойство должно все время нами учитываться при составлении показателей. Мы не должны слепо следовать расчетам с позиций упругости (пусть даже с очень подробной детализацией геометрии и физико-механических свойств), а отдавать предпочтение тому, что наблюдаем в реальном сооружении, как угодно это называйте - калибровка математических моделей и т.д. Фактически мы в новые обновленные физико-механические характеристики материала, используемые в методах линейной теории упругости, вкладываем немонолитность сооружения и физическую и геометрическую нелинейность его поведения под нагрузкой.

И последнее. Первый уровень контроля означает стабильность показаний приборов, понимаемую как стабильность динамическая, как повторяющаяся из года в год серия показаний приборов по отдельным месяцам.

КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Филиппова Е.А. (ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»)

Для обеспечения эксплуатационной надежности грунтового гидротехнического сооружения в свете требований ст. 9 Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» требуется систематически оценивать состояние сооружения и, в случае необходимости, «... анализировать причины снижения безопасности гидротехнического сооружения и своевременно осуществлять разработку и реализацию мер по обеспечению технически исправного состояния гидротехнического сооружения и его безопасности, а также по предотвращению аварии гидротехнического сооружения».

При оценке состояния сооружения решаются следующие вопросы: соответствие эксплуатационных параметров сооружения их проектным значениям, которые должны отвечать всем требованиям современных нормативных документов; соответствие показателей состояния сооружения их предельно допустимым значениям; оценка достаточности контрольно-измерительной аппаратуры.

При оценке состояния ГТС необходимо учитывать:

1. Возможность превышения принятых в проекте расчетных уровней природных воздействий (например изменение сейсмоопасности района расположения ГТС; изменение гидрологического режима водотока и т.д.).

2. Соответствие условий эксплуатации сооружения заданным в проекте. Примером необходимости такого соответствия могут служить золоотвалы Вологодской ТЭЦ-2 и Ново-Свердловской ТЭЦ, которые в настоящее время, после перевода станций на газ, работают как пруды-отстойники промывочных вод, следовательно отсутствуют зольные пляжи у откосов, что, в свою очередь, снижает устойчивость откосов.

3. Соответствие физико-механических характеристик грунтов, слагающих тело и основание сооружения, проектным значениям. При необходимости проводятся инженерно-геологические изыскания с целью определения, в соответствии с требованиями СНиП и ГОСТ, физико-механических характеристик грунтов тела и основания плотины. В качестве примера можно привести грунтовую плотину Средне-Уральской ГРЭС, декларация безопасности которой в настоящее время разрабатывается в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденее-

ва». Плотина является сооружением I класса, проект разработан в 1934 г. в УралГЭП, данные по проекту на сегодняшний день отсутствуют. Для выполнения расчетов по оценке состояния плотины в соответствии с требованиями нормативных документов заключен договор на проведение инженерно-геологических и топографических изысканий.

Оценку надежности эксплуатируемого грунтового ГТС следует проводить по следующим предельным состояниям: устойчивость и прочность сооружения; фильтрационная прочность тела и/или основания сооружения; деформации сооружения.

Состояние сооружения в период эксплуатации оценивается контролирующими показателями.

Контролирующие показатели — это назначенные проектом показатели состояния (измеряемые и рассчитываемые), которые для сооружения в период эксплуатации должны периодически определяться и сравниваться с их предельно допустимыми (ПДЗ) и критическими значениями (КЗ).

Контролирующие показатели состояния сооружения бывают количественными и качественными. Состав контролирующих в период строительства и эксплуатации показателей состояния сооружений и их ПДЗ назначаются при разработке проекта в соответствии с требованиями нормативных документов по проектированию отдельных видов сооружений и уточняются в процессе строительства и эксплуатации.

При назначении состава контролирующих показателей состояния сооружения и их ПДЗ и КЗ необходимо учитывать как в процессе строительства, так в процессе эксплуатации специфику грунтовых сооружений различного назначения: будь то плотина из грунтовых материалов или ограждающая дамба золошлакоотвала или хвостохранилища.

Под ПДЗ понимают такие значения целого ряда показателей состояния сооружения, при достижении которых надежность сооружения еще соответствует нормативным требованиям, т.е. когда выполняются критериальные условия вида:

$$\gamma_{\text{с}} \cdot F \leq \frac{R \cdot \gamma_{\text{с}}}{\gamma_{\text{н}}}$$

где F — расчетное значение обобщенного силового воздействия (сила, момент, напряжение), деформации или другого параметра, по которому проводится оценка предельного состояния; R — расчетное значение обобщенной несущей способности, деформации или друго-

го параметра, устанавливаемого нормами проектирования; γ_{ic} — коэффициент сочетаний нагрузок, принимаемый в соответствии с требованиями СНиП 2.06.01-86; γ_c — коэффициент условий работы, принимаемый в соответствии с требованиями СНиП 2.06.05-84; γ_n — коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения, учитывающий капитальность и значимость последствий при наступлении тех или иных предельных состояний (СНиП 2.06.01-86).

Несоответствие измеренных (одного или нескольких) показателей их заданным ПДЗ указывает на то, что состояние сооружения не отвечает требованиям норм.

Некоторые основные показатели состояния грунтовых сооружений имеют ПДЗ двух видов: ПДЗ_{р. испр.} и ПДЗ_{р. неиспр.}

ПДЗ_{р. испр.} характеризует некоторое пороговое событие, до достижения которого состояние сооружения характеризуется как работоспособное, исправное. Состояние сооружения, при котором ПДЗ принимают значения от ПДЗ_{р. испр.} до ПДЗ_{р. неиспр.}, следует считать работоспособным, но неисправным.

ПДЗ_{р. неиспр.} характеризует событие, свидетельствующее о переходе объекта из работоспособного, но неисправного состояния, в неработоспособное состояние.

Если ПДЗ_{р. неиспр.} какого-либо показателя состояния сооружения отсутствует, а имеются только ПДЗ_{р. испр.} и КЗ, то это означает, что сооружение в данной ситуации не может находиться в работоспособном, но неисправном состоянии, а сразу переходит в неработоспособное состояние. Примером этому может служить повышение поверхности депрессии в теле плотины, приводящее к потере устойчивости низового откоса, т.е. к неработоспособному состоянию.

Если КЗ какого-либо показателя состояния сооружения отсутствует, то это означает, что сооружение из работоспособного исправного перешло в работоспособное, но неисправное состояние. Иллюстрацией этого процесса может служить повреждение крепления верхового откоса или незначительные, неглубокие трещины на гребне откоса плотины.

Итак, сооружение считается работоспособным в случае:

когда визуальными наблюдениями не обнаружено потенциально опасных повреждений и неблагоприятных процессов;

когда фактические значения всех количественных показателей его состояния не превышают (например градиенты напора в теле и основании плотины) или не меньше (например коэффициент устойчивости откосов плотины) их ПДЗ, установленных для работоспособного исправного состояния.

Сооружение считается работоспособным, но неисправным в случае, когда хотя бы один из основных количественных измеренных или рассчитанных с использованием данных натуральных наблюдений показателей принимает значение от ПДЗ р. испр. до ПДЗ р. неисправ.

Сооружение находится в неработоспособном состоянии в случае, когда хотя бы один из основных количественных контролируемых показателей превышает (меньше) его ПДЗ, установленного для неработоспособного состояния.

Под критическими (КЗ), недопустимыми значениями показателей состояния грунтового сооружения (плотины) следует понимать такие значения, при достижении которых сооружение может перейти в предельное состояние. Этим значениям отвечает предаварийное или аварийное состояние сооружения.

Критические значения показателей определяются в процессе проектирования расчетами по предельным состояниям при оценке: устойчивости и прочности; фильтрационной прочности; деформаций.

Так, *контролирующие параметры фильтрационной прочности системы «плотина — основание»* следующие:

градиенты напора в теле и основании сооружения;

положение поверхности депрессии;

фильтрационные расходы;

наличие очагов сосредоточенной фильтрации;

мутность профильтровавшейся воды, и т.д.

Контролирующие параметры устойчивости и прочности сооружения: фактическое очертание профиля плотины (его соответствие проектному);

соответствие физико-механических характеристик грунтов тела и основания плотины принятым в расчете при обосновании надежности сооружения;

положение поверхности депрессии в теле плотины, и т.д.

Контролирующие параметры деформации сооружения:

осадки и смещения;

очертание профиля плотины;

напряжения и деформации в элементах плотины;

градиенты напора в теле и основании сооружения и т.д.

Все эти параметры состояния определенным образом связаны между собой. Например, положение поверхности депрессии в теле плотины влияет на устойчивость сооружения, на его фильтрационную прочность, на деформации сооружения. Поэтому рекомендуется при оценке состояния грунтовых сооружений использовать методу, по которой определяются предельно допустимые значения

уровня воды в пьезометрах, соответствующие нормативному значению коэффициента устойчивости откоса во всех режимах работы сооружения.

При определении количественных значений ПДЗ необходимо в соответствии с нормативными документами учитывать нагрузки и воздействия на сооружения, а в период строительства и эксплуатации — контролировать действующие нагрузки и воздействия.

К контролируемым нагрузкам и воздействиям (для основного и особого сочетания) относятся:

нагрузка от собственного веса сооружения;

уровни воды в верхнем и нижнем бьефах;

скорости изменения уровня воды в водохранилище в ходе наполнения и сработки (например, случай мгновенной сработки водохранилища для плотины из связного материала может привести к потере устойчивости верхового откоса);

температурные воздействия (воздуха и воды вблизи сооружения, материала в теле плотины, грунта в ее основании);

нагрузки от ледовых воздействий;

нагрузки от волновых воздействий;

динамические воздействия (например, от движущегося по гребню плотины транспорта);

сейсмические воздействия, и т.д.

Для проектируемых сооружений ПДЗ показателей их состояния определяются расчетами по первой и второй группам предельных состояний в соответствии с действующими нормативными документами по проектированию отдельных видов сооружений.

Первоначальные (проектные) ПДЗ показателей состояния гидротехнических сооружений не являются окончательными и должны обязательно уточняться в период возведения сооружения, в начале эксплуатации, при увеличении напора и при последующей его эксплуатации.

Для строящихся сооружений проектные ПДЗ показателей состояния сооружений уточняются расчетным путем с учетом реальных характеристик использованных материалов, полученных при геотехконтроле, особенностей технологии возведения и нагружения сооружения.

Особенно важным для гидротехнического сооружения является начальный период эксплуатации, когда сооружение ставится под напор. В этот период необходимо вести постоянный учащенный контроль за состоянием сооружения и КИА, отмечая моменты стабилизации показателей.

Для эксплуатируемых сооружений ПДЗ показателей состояния сооружений устанавливаются расчетом с учетом реальных значений нагрузок и воздействий, режимов эксплуатации сооружения, характеристик материалов, размеров сооружения и его элементов, особенностей работы отдельных контролируемых элементов, выявленных натурными наблюдениями и специальными исследованиями.

Переход от проектных значений ПДЗ показателей состояния сооружения к их значениям для периода постоянной эксплуатации осуществляется после постановки сооружения на полный напор и перехода на установившийся режим работы.

ПДЗ показателей состояния эксплуатируемых сооружений должны уточняться после каждого обследования сооружения 1 раз в 5 лет, а также после их повреждений, капитального ремонта, реконструкции, сейсмических воздействий свыше 7 баллов, пропуска паводка, близкого к поверочному.

Для «старых» сооружений, отработавших более 25 лет, ПДЗ показателей состояния уточняются как по составу, так и по численному значению контролируемого показателя на основе многофакторного анализа состояния сооружения.



Рис. 1. Дерево отказов золоотвала Ново-Свердловской ТЭЦ (сценарий А1).

После того как определено в каком состоянии находится сооружение, т.е. оценена его надежность, необходимо принять решение о разработке необходимых мероприятий по обеспечению его надежности, если таковые требуются.

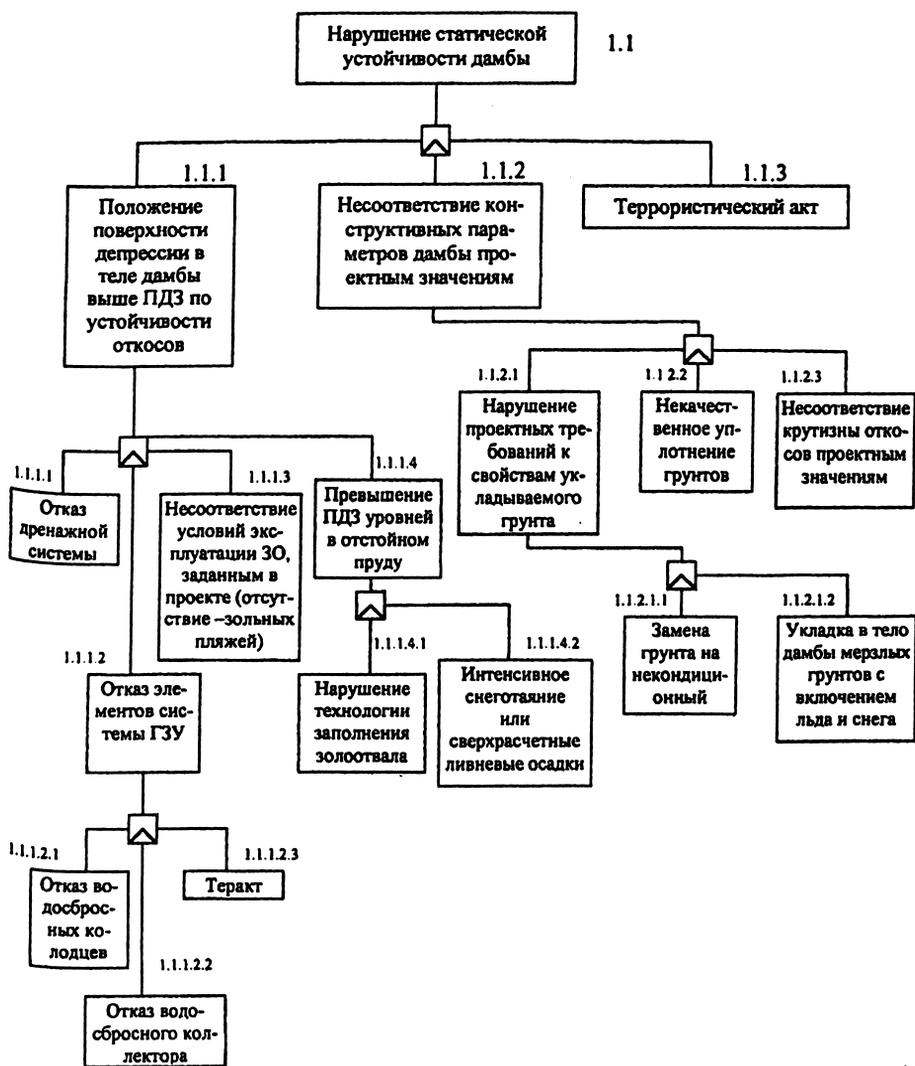


Рис. 1. «Дерево отказов» ограждающей дамбы золоотвала НСТЭЦ (продолжение).

При исправном работоспособном состоянии плотины проводятся контрольные наблюдения и текущий ремонт.

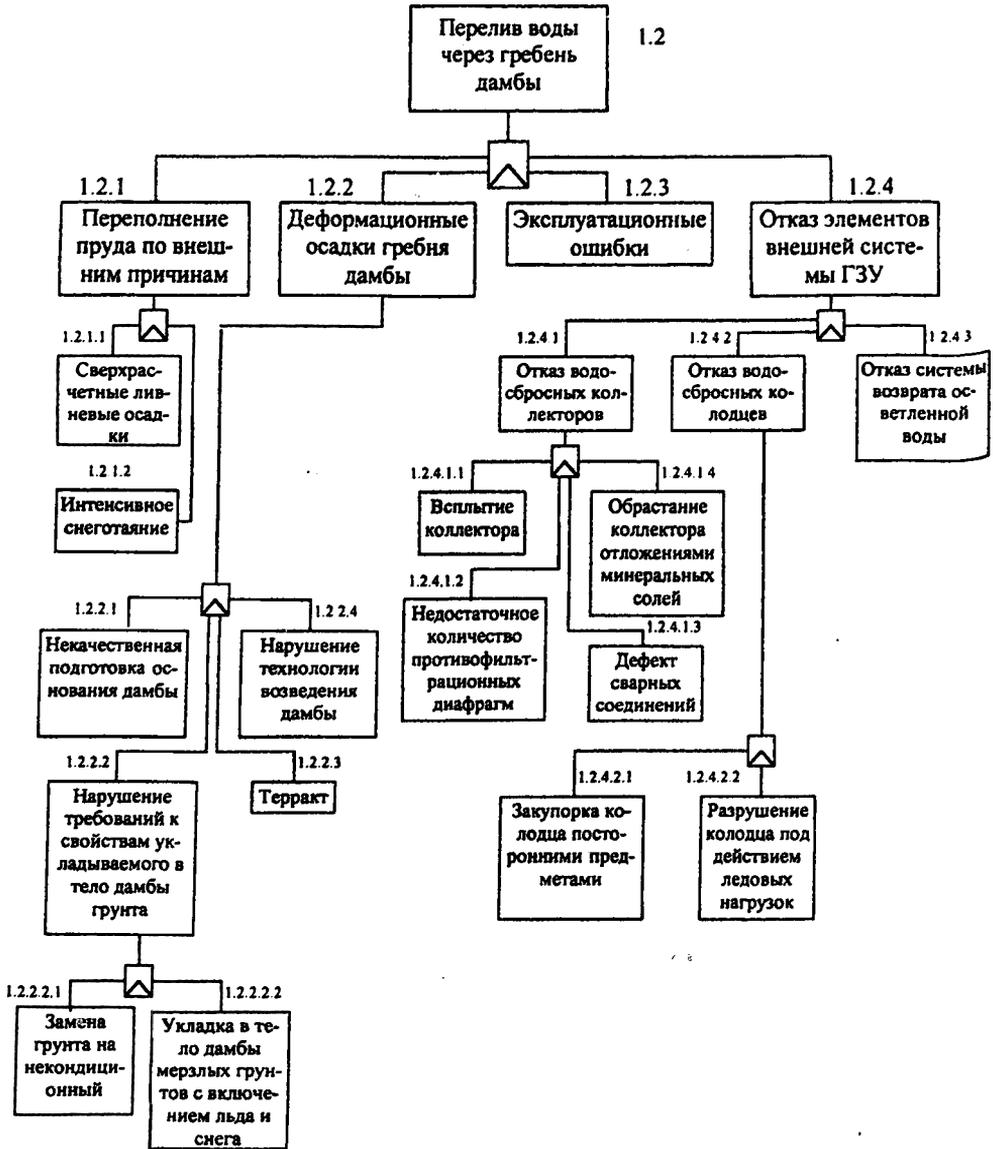


Рис. 1. «Дерево отказов» золотвала НТСТЭЦ (продолжение).

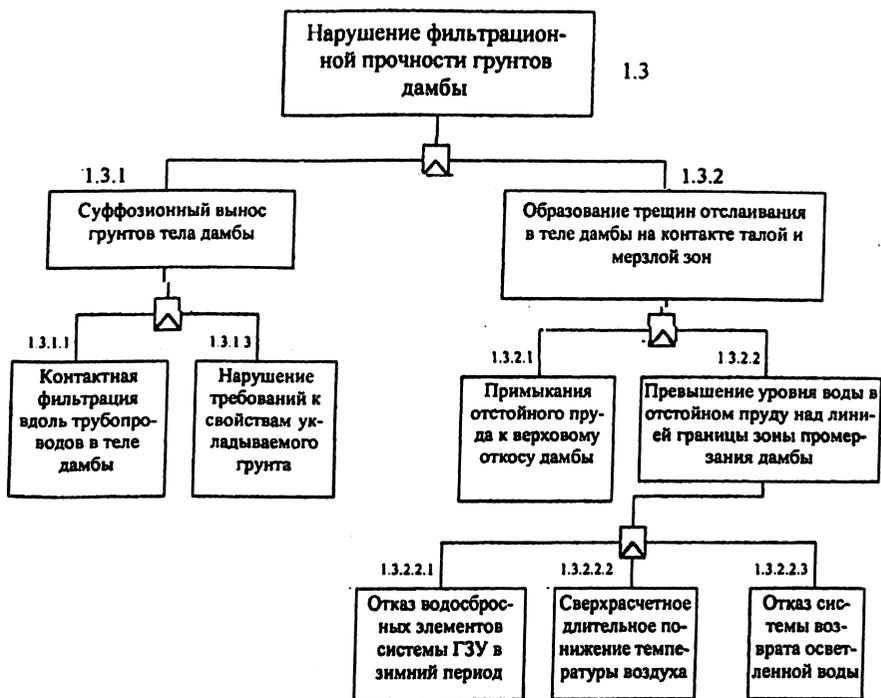


Рис. 1. «Дерево отказов» золоотвала НСТЭЦ (окончание).

Плотина в неработоспособном состоянии контролируется учащенными контрольными наблюдениями, изучается экспертами с целью прогноза ее состояния, необходимости снижения нагрузок и решения вопросов ремонта или усиления.

При предаварийном или аварийном состоянии плотины необходимо выполнять работы в соответствии с планом противоаварийных мероприятий, а также ограничить режим эксплуатации сооружения. После устранения угрозы аварии выполняется тот же комплекс мероприятий, как и для плотины, находящейся в неработоспособном состоянии.

Результаты выполненной оценки состояния сооружения лежат в основе анализа риска возможной аварии на ГТС и в первую очередь учитываются при идентификации опасностей для сооружения.

В качестве примера на рис. 1. приводится фрагмент качественной оценки риска возможной аварии на ограждающей дамбе золоотвала Ново-Свердловской ТЭЦ. Эта оценка выполнена с использованием графоаналитического метода — анализ «дерева отказов и событий».

В рамках разработки Декларации безопасности выполнена оценка состояния и определены критерии безопасности для гидротехнических сооружений Артемовской ТЭЦ, Ирганайской ГЭС, Серовской ГРЭС, Нижне-Туринской ГРЭС, Ново-Свердловской ТЭЦ, Рефтинской ГРЭС, Нижегородской ГРЭС, Вологодской ТЭЦ и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малаханов. В.В. Техническая диагностика грунтовых плотин. М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Отчет ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденсева» «Рекомендации по установлению предельно допустимых значений показателей состояния и безопасности гидротехнических сооружений», 1998.
3. Филиппова Е.А. Доклады на семинаре «Практика декларирования безопасности ГТС ГЭС и ТЭС», Екатеринбург, 1999.
4. Глебов А.И., Филиппова Е.А. и др. Пути повышения надежности намывных золошлакоотвалов при их возведении и эксплуатации в сложных природно-климатических условиях на примере Воркутинской ТЭЦ-2. Известия ВНИИГ № 234, 1999г.

ОСОБЕННОСТИ ДЕКЛАРИРОВАНИЯ ГТС, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ

Соловьев А.Н., инженер (АО «Ленгидропроект»)

Ленгидропроект уже свыше 80-ти лет занимается проектированием гидротехнических бетонных и грунтовых плотин, водозаборов, водосбросов, зданий ГЭС, шлюзов, каналов и других сооружений всевозможного назначения, связанных с водой. За эти годы по проектам нашего Института было построено более 70 гидроэлектростанций, крупных и мелких.

Водохозяйственные и энергетические комплексы являются исключительно сложными объектами, которые аккумулируют тысячи инженерных решений.

Несмотря на совершенствование методических документов, усиление контроля качества за выполнением строительно-монтажных работ, приобретения опыта эксплуатации, аварийные ситуации на гидротехнических сооружениях продолжают встречаться и даже наблюдаются чаще, чем нам этого бы хотелось. Основными причинами выхода любых гидротехнических сооружений из строя являются: большой разброс технических характеристик отдельных сооружений, входящих в комплекс; неполный учет случайных фак-

торов, обуславливающих работу сооружения; ошибки, которые были допущены при строительстве и эксплуатации; недостаточная взвешенность проектных решений, особенно если о них судить с позиций современных требований и знаний.

Мировая практика эксплуатации ГТС свидетельствует, что при авариях могут возникать чрезвычайные ситуации как на самих объектах, так и на больших территориях, расположенных в зоне влияния этих сооружений.

Анализ статистики аварий и повреждений показывает практическую невозможность достижения абсолютной безопасности сооружений. Вероятность аварии допускают и современные, в том числе отечественные, нормы проектирования. Это значит, что любое сооружение с некоторой вероятностью, заложенной при его проектировании, может быть разрушено и повреждено, и, следовательно, может быть нанесен вред третьим лицам, находящимся в зоне расположения и влияния этих сооружений.

Интенсивное развитие промышленности и сельского хозяйства в послевоенные годы обусловило необходимость расширения и реконструкции существовавших в то время гидроузлов и вызвало пик нового гидроэнергетического и гидротехнического строительства. В этот же период шло интенсивное совершенствование и пересмотр ранее существовавших нормативных документов. К настоящему времени строительные нормы и правила пересматривались и изменялись несколько раз. Таким образом, значительное количество построенных и эксплуатирующихся в настоящее время ГТС не в полной мере соответствуют действующим сегодня нормативным документам.

По имеющейся статистике вероятность аварий эксплуатирующихся сооружений резко возрастает при достижении возраста 30 — 40 лет. Учитывая, что срок эксплуатации большинства крупных гидротехнических объектов в России находится в этих пределах, проблема безопасной эксплуатации энергетических объектов приобретает сегодня государственное значение. Поэтому цель составления декларации ГТС не только продекларировать безопасность этих сооружений, но и получить объективную оценку состояния сооружений, наметить меры по обеспечению их безопасности, привести сооружения в соответствие с действующими сегодня нормативами и требованиями.

Разработка декларации безопасности особенно актуальна для сооружений, построенных или реконструированных несколько десятилетий назад по устаревшим нормативам и методикам. Для составления декларации безопасности таких сооружений необходимо

привлечение квалифицированных специалистов, и это труд не одиночки, а кропотливый труд специалистов и коллективов. При этом необходимо при составлении декларации отказаться от стремления к упрощению, сокращению, формального подхода, описательного и неконкретного характера и стиля представляемых материалов.

Особенности составления декларации безопасности ГТС, эксплуатирующихся уже несколько десятилетий, имеются практически в каждом пункте декларации. Это обусловлено и отсутствием полного комплекта проектной и исполнительной документации по объекту, и неполным объемом выполненных расчетов и изменениями в конструкциях сооружений без соответствующих обоснований, и отсутствием контрольно-измерительной аппаратуры, отсутствием обоснованных критериев безопасности. Можно назвать целый ряд других данных, которые перечислены в совместном Приказе МЧС и Минтопэнерго РФ от 31.12.97., и которые необходимо для каждого объекта заново разрабатывать или уточнять. В этом случае составлению декларации безопасности должен предшествовать значительный объем проектных, а при необходимости и изыскательских работ, которые позволят определить степень соответствия существующих сооружений действующим строительным нормам и правилам и возможные последствия от разрушения сооружения.

По данным Международной комиссии по большим плотинам (СИГБ) из 10 тысяч плотин высотой более 15 м разрушения по разным причинам произошли на 216. Приблизительно 60 % из этих плотин имеют высоту менее 30 м (I и II класс капитальности).

Разрушения по причине перелива через гребень составляют 34%, из них 1/3 приходится на отказ подъемных механизмов у затворов, оставшаяся часть — по причине занижения в проектных расчетах максимальных сбросных расходов. Занижение максимальных расчетных сбросных расходов в проектах, выполненных несколько десятилетий назад, обусловлено непродолжительными гидрологическими наблюдениями и, как следствие, неправильным выбором модели расчетного гидрографа и других гидрологических характеристик. Гидрологические наблюдения, проводящиеся на протяжении всего периода эксплуатации ГТС, — а это уже сегодня может насчитывать десятки лет — сделали ряд наблюдений значительно более представительными, и результаты, полученные после корректировки гидрологических характеристик створа и особенно максимальных расчетных расходов, могут очень существенно отличаться от тех, которые были заложены в проекте 40 — 50 лет назад. Поэтому при составлении декларации безопасности ГТС корректировка гидроло-

гических показателей должна быть обязательной. С максимальными расчетными расходами тесно связана и другая характеристика — это фактическая пропускная способность водосбросных сооружений, ее соответствие проектным значениям, классу капитальности, действующим нормам. Как показали результаты обследований некоторых гидроузлов, пропускная способность их водосбросных сооружений за годы эксплуатации по разным причинам может претерпеть существенные изменения.

В соответствии с Правилами эксплуатации электрических станций и сетей для каждого напорного ГЭС должны быть указаны предельно допустимые значения контролируемых параметров, характеризующих состояние сооружений. Критерии безопасности ГЭС в общем случае должны определяться в соответствии с результатами выполненных расчетов и с учетом данных наблюдений, полученных с помощью контрольно-измерительной аппаратуры. Однако на многих ранее построенных ГЭС II, III и IV классов капитальности контрольно-измерительная аппаратура либо частично отсутствует, либо, если и ведутся наблюдения, не производится оценка тех данных, которые снимаются с контрольно-измерительной аппаратуры.

В состав обязательных разделов проекта ГЭС, проектировавшихся 30 — 40 лет назад, не входил исключительно важный сегодня раздел, в котором расчетным способом определяются площади территорий, затапливаемых при прорыве напорного фронта.

Методика расчетов параметров волны прорыва совершенствовалась с 60-х по 1983 г. И только в 1983 г. после согласования ее со Штабом Гражданской Обороны СССР Приказом Минэнерго СССР эта методика была утверждена («Инструкция по определению зоны возможных затоплений при прорыве напорных фронтов гидроузлов»). По этой инструкции выполняются сегодня расчеты по определению размеров затапливаемых территорий при гидродинамической аварии, и на сегодняшний день эта инструкция является единственным утвержденным документом, который регламентирует порядок и условия проведения этих расчетов. Методика реализована в виде машинных программ. Возможности программы достаточно широки: можно рассматривать полное или частичное разрушение напорного фронта с учетом изменения размеров прорыва во времени; рассчитывать параметры волны прорыва при разрушении как изолированного гидроузла, так и каскада гидроузлов с учетом наличия притоков, первоначально сухих русел, наличия поймы и долины реки, изменения и наличия инженерных сооружений. В каждом конкретном створе могут быть определены параметры

потока, скорости течения, глубина и ширина в каждый расчетный момент времени для всех расчетных створов. И чем больше створов, чем точнее топографическая основа, тем с большей достоверностью может быть определены площади затопления и, следовательно, оцененный ущерб от разрушения ГТС.

Для гидротехнических сооружений, для которых расчеты по оценке ущерба от гидродинамической аварии не выполнялись, такие расчеты надо выполнять заново, но даже и для тех сооружений, где эти расчеты были выполнены 10 лет назад, сегодня необходимо уточнять величину ущерба в связи с тем, что за эти годы произошли очень существенные изменения и в освоении территории, и, самое главное, в форме собственности тех сооружений и земель, которые находятся в нижнем бьефе гидроузла.

За время эксплуатации ГТС изменяются не только социально-экономические условия, влияющие на величину ущерба от гидродинамической аварии, или расчетные гидрологические величины, или отдельные конструкции самих сооружений, но могут также изменяться и расчетные сейсмические воздействия и физико-механические характеристики грунтов, из которых построены ГТС, и пород основания. Изменение физико-механических характеристик может быть обусловлено не только уточнившимися методиками, но и за счет изменившихся гидрогеологических условий и напряженного состояния.

Совершенно особо стоит вопрос о расчетной сейсмичности площадки, на которой расположено сооружение. В случае повышения фоновой сейсмичности территории совершенно необходимо проведение работ по микросейсморайонированию и выполнение последующих расчетов с новыми динамическими воздействиями. Все эти работы необходимо выполнять при составлении декларации безопасности, для того чтобы объективно оценить состояние сооружения, степень риска дальнейшей эксплуатации этих сооружений и возможные последствия от разрушения этого сооружения. При подготовке обосновывающих декларацию безопасности материалов и составлении самой декларации должны обязательно участвовать проектные и научно-исследовательские организации, специализирующиеся на проектировании этих ГТС.

НЕКОТОРЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ГТС

Варга А.А., Ременяк М.Б., инженеры (АО «Институт Гидропроект»)

В последние годы во всем мире наблюдается повышенный интерес к вопросам безопасности ГТС и особенно старых сооружений. В России эта тенденция усиливается благодаря коренным социально-экономическим преобразованиям и переходу к рыночным отношениям. В 1997 г. был принят впервые в истории России Федеральный закон «О безопасности ГТС», а в 1998 г. — отраслевая программа «Безопасность энергетических сооружений». В соответствии с этими документами в настоящее время начато декларирование безопасности ГТС их владельцами, разрабатывается современная методика назначения критериев безопасности и т.д. В этих документах обеспечение безопасности ГТС основывается практически на геотехнических расчетах их прочности и устойчивости, т.е. на традиционном детерминистическом подходе с использованием методов предельного равновесия и коэффициента надежности.

Анализ непредвиденных осложнений и аварий на плотинах показывает, что их разрушение часто возникает в основаниях из-за недостаточной изученности структуры и геотехнических свойств горных пород при плохом знании масштабного эффекта. Однако при традиционном подходе к безопасности ГТС большие различия в надежности между, с одной стороны, хорошо спроектированными и лучше контролируруемыми плотинами и, с другой стороны, исключительно неоднородными, уникальными и всегда недоизученными *in situ* основаниями обычно затушевываются. На практике эта недоизученность и неопределенность компенсируется принятием очень консервативных расчетных показателей, которые обеспечивают, как правило, безопасность строящихся ГТС, но не дают точной оценки уровня реальной надежности.

Вызывает критику и концепция абсолютной надежности проектирования ГТС на базе детерминистического подхода, неприемлемая из-за огромных материальных затрат и практически невыполнима, что очевидно хотя бы из одной только невозможности абсолютно полного изучения инженерно-геологических условий, а также полного искоренения «человеческого» фактора. Вероятность аварии здесь не абстракция, а современная реальность, равнозначная 10^{-4} — 10^{-5} плотино-лет по результатам статистического анализа аварий [Хоек, 1992]. Соответственно безопасность плотин не мо-

жет быть 100 %, должна зависеть от уровня риска с использованием вероятностной «обеспеченности», позволяющей устанавливать безопасность исходя из одинакового для всех ГТС критерия «допустимый риск» с учетом всех реально возможных воздействий и негативных последствий.

Традиционный подход к оценке безопасности в настоящее время основывается на расчете прочности и устойчивости непосредственно ГТС (обычно плотины) определенного класса при различных воздействиях (нагрузках) и разных свойствах основания. Между тем, фактически происходит сложный многофакторный и многоэтапный процесс взаимодействия сооружения и окружающей среды (включая факторы внешних природных и техногенных воздействий), который, в конечном счете, и определяет безопасность как самого сооружения, так и окружающей территории. При этом возможно развитие крайне разнообразных сценариев взаимодействия сооружений с природной средой, специфичных, как правило, для каждого объекта (таблица 1).

Во всех этих процессах взаимодействия каждый этап характеризуется воздействием различных факторов и специфическим механизмом процесса, а эффект от каждого этапа зависит существенно от особенностей предыдущего. Все это требует перехода на подлинно системный подход с рассмотрением не одного только возможного разрушения ГТС, а поэтапного развития всей техноприродной системы, включая внешние воздействия. Системный подход позволяет лучше учесть воздействие геологических и других факторов и понять всю цепочку процессов взаимодействия за время строительства и эксплуатации сооружений. Однако такой подход требует анализа возможности формирования каждого этапа, т.е. применения не детерминистических, а вероятностных методов с иными критериями.

Для реализации системного подхода к проблеме прогнозной оценки и управления безопасностью ГТС и окружающей территории с ее населением, хозяйственными сооружениями, дорогами и т.д. большую помощь может оказать сбор, обобщение и типизация материалов по фактическим авариям ГТС с позиций системного анализа в целях создания банка данных по различным сценариям развития опасных процессов взаимодействия ГТС с окружающей средой, а также проведение статистического подсчета вероятности развития того или иного сценария.

Системный подход требует анализа и оценки не только элементарного процесса разрушения сооружения с помощью одной математической модели, а всей длительной последовательности процес-

Таблица 1

Техно-природные процессы	Вероятные сценарии развития процессов взаимодействия сооружений с природной средой	Возможные последствия
Землетрясение	<ul style="list-style-type: none"> - формирование оползня над плотиной; - обвал крупных потенциально-неустойчивых масс, отсеченных трещинами бортового отпора 	<ul style="list-style-type: none"> - перелив через земляную плотину → → образование волны прорыва; - разрушение плотины
	<ul style="list-style-type: none"> - сейсмогенные подвижки по крупным трещинам или разрывам в основании плотины 	<ul style="list-style-type: none"> - разрушение плотины с образованием волны прорыва
Изменение уровня подземных вод	<ul style="list-style-type: none"> - выщелачивание растворимых или суффозия суффозионно-неустойчивых пород 	<ul style="list-style-type: none"> - деформация основания → → возможно разрушение плотины
	<ul style="list-style-type: none"> - размыв заполнителя трещин или карста 	<ul style="list-style-type: none"> - интенсивная фильтрация из-под водохранилища → → уменьшение выработки электроэнергии
Интенсивные осадки	<ul style="list-style-type: none"> - разрушение перемычки ледниковых озер → → формирование селя → → возможное образование перемычки в нижнем бьефе 	<ul style="list-style-type: none"> - прорыв перемычки → → разрушение плотины; - затопление ГЭС и территории нижнего бьефа
Подъем уровня водохранилища	<ul style="list-style-type: none"> - формирование реологической ползучести склона → → быстрое обрушение крупного оползня в водохранилище 	<ul style="list-style-type: none"> - перелив воды из водохранилища через бетонную плотину (без разрушения) → возможные катастрофические процессы в н.б.
	<ul style="list-style-type: none"> - вращение бетонной плотины вокруг горизонтальной оси → формирование трещины отрыва под верхней гранью → циклическое увеличение фильтрации и рост противодавления 	<ul style="list-style-type: none"> - разрыв цементационной завесы - возможное снижение прочности плотины на сдвиг (или верхней части основания) → возможное разрушение плотины
Интенсивная эрозия русла в нижнем бьефе	<ul style="list-style-type: none"> - возможное разрушение основания плотины 	<ul style="list-style-type: none"> - разрушение плотины
Доопредельная реологическая ползучесть склона	<ul style="list-style-type: none"> - возможное быстрое обрушение оползня → возможное образование временной перемычки 	<ul style="list-style-type: none"> - прорыв перемычки → образование волны → разрушение плотины
Добыча нефти вблизи плотины	<ul style="list-style-type: none"> - возможное оседание кровли нефтяного месторождения - увеличение трещинной фильтрации 	<ul style="list-style-type: none"> - прорыв и разрушение земляной плотины
Воздействие внешнего техногенного фактора (дренаж регионального горизонта подземных вод)	<ul style="list-style-type: none"> - снижение гидростатического давления → смещение структурных блоков и возможная деформация земной поверхности 	<ul style="list-style-type: none"> - неравномерная осадка → → разрушение плотины

сов взаимодействия, позволяя организовать единую схему слежения и управления риском (или надежностью) для всех разных потенциально опасных процессов. Для прогнозной оценки такой последовательности применяют вероятностный метод под названием «дерево событий», а критерием становится не коэффициент запаса по отношению к одному конечному процессу, а безопасное функционирование всей техноприродной системы без превышения уровня допустимого риска. В случае повышения риска необходимо принять меры для его снижения. При этом создаются благоприятные условия для оперативной профилактики опасных техноприродных процессов по результатам поэтапного мониторинга.

При традиционном подходе безопасность ГТС оценивается из возможности разрушения плотины, а сценарии, если они и рассматриваются, то только как сложные воздействия на уже существующие сооружения, не затрагивая стадию строительства, когда полностью построенных плотин еще нет. Если же исходить из риска, обусловленного процессами взаимодействия плотин и природной среды, то становится обязательным рассмотреть и стадию выполнения строительных работ ввиду ее значительной длительности, особенно в российских условиях, когда многие плотины (Ингурская, Нурекская, Богучанская и др.) строились более 10 лет. На этой стадии могут проявиться такие же внешние факторы (сейсмичность, большие паводки, сели и т.п.), как и при эксплуатации гидроузла. Возможно и развитие сценариев с образованием и разрывом оползневых перемычек, а также и другие варианты, что в условиях незавершенного строительства может представить большую угрозу, чем для уже построенных сооружений.

В традиционной методике термины «риск» и «опасность» употребляются обычно в качестве синонимов. Представляется необходимым более четко разграничить эти понятия в соответствии с международной практикой в области безопасности сооружений и опасных производств, а именно: рассматривать опасность (hazard) как возможность развития опасного процесса или аварии и риск (risk) как вероятностный показатель, равный произведению вероятности возникновения аварии на возможный ущерб от этой аварии (в соответствии с рекомендацией ICOLD). Новое понимание термина «риск», помимо большого значения в качестве важного экономического показателя цены вопроса, расширяет понятие «опасное явление» или чрезвычайная ситуация, включая в него катастрофы без непосредственного разрушения самих сооружений (например, Вайонт), а также случаи без разрушения плотины, без жертв и ущерба для окру-

жающей среды, но со снижением выработки электроэнергии или с прекращением водоснабжения в результате потерь воды из водохранилища из-за карста или суффозии, что можно рассматривать, как своего рода функциональный риск. Следует отметить и существующую во многих странах современную тенденцию к перерасходу средств на выполнение строительных работ. Представляется, что такой непредвиденный экономический ущерб следовало бы тоже рассматривать при прогнозном анализе риска. В то же время нельзя не отметить неразрешенные пока трудности прогнозной оценки ущерба в части определения необходимой для страхования стоимости человеческой жизни, а также редких видов животных или растений. Нередко оценка ущерба осложняется быстрой застройкой территории в нижнем бьефе и т.п. Нельзя также не отметить негативное отношение к определению потенциального ущерба, проявившееся в его исключении из Декларации о безопасности ГТС.

В настоящее время одной из важнейших и сложнейших методических проблем является, несомненно, выбор детерминистического или вероятностного подхода к анализу и оценке безопасности ГТС, что нельзя рассматривать как только теоретические рассуждения ввиду конкретного различия этих методов. В российских нормативно-методических документах эта фундаментальная проблема излагается нечетко и несколько противоречиво. С одной стороны, декларативно разрешается использовать вероятностные методы наряду с традиционным детерминистическим подходом, а с другой — говорить, что уровень безопасности следует определять преимущественно в детерминистической форме в соответствии с действующими нормативными документами.

Представляется, что многие специалисты не совсем правильно интерпретируют понятие «вероятностный анализ», имея в виду лишь количественный метод на основе обязательного использования математической теории вероятности. Между тем, за рубежом в настоящее время наибольшим распространением пользуются упрощенные качественные способы определения риска, а количественные методы для массового применения еще находятся практически в стадии разработки.

Уникальность сценариев взаимодействия ГТС и природных условий наряду с редкой в общем случае повторяемостью внешних воздействий затрудняет сбор статистических данных, необходимых для развития математических методов оценки риска. Мешает и недостаточное знание механизмов и закономерностей процессов взаимодействия элементов анализируемых техноприродных систем. Боль-

шие трудности связаны также с отсутствием единой точки зрения на соответствующую терминологию, на подходы к определению критериев допустимого риска (нормативно допустимый или добровольно принимаемый) и т.д.

Все вышесказанное показывает целесообразность внедрения в практику упрощенных качественных методов оценки риска и необходимость разработки количественных вероятностных методов. Дальнейшее развитие методики нельзя проводить в отрыве от обновления нормативных документов и без использования передового зарубежного опыта.

УЯЗВИМОСТЬ И СЦЕНАРИИ РАЗРУШЕНИЯ ГЭС ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПЛОТИН

*Бронштейн В.И., доктор технических наук
(ЦСГНЭО — филиал АО «Институт Гидропроект»)*

Около четверти территории России с населением более 20 млн. человек находится в зонах повышенной сейсмической опасности, оцениваемой 7 баллами и выше. При этом в районах Северного Кавказа, Прибайкалья, Камчатки, Сахалина, Курильских островов можно ожидать землетрясений интенсивностью 9 и более баллов.

Для многих районов нашей страны уровень сейсмической опасности, согласно новым картам общего сейсмического районирования ОСР-97, существенно возрос по сравнению с уровнем, определявшимся ранее действовавшими картами сейсмического районирования территории СССР. Соответственно, уровень нормативной сейсмичности многих ответственных российских энергообъектов, находящихся в эксплуатации, повысился относительно оценок, принятых при их проектировании, на 1 – 2, а иногда и 3 балла (таблица 1).

Только за последние 2 года произошел целый ряд разрушительных землетрясений вблизи южных и восточных границ нашей страны. В прошлом году - это два катастрофических землетрясения в Турции (17.08.99, магнитуда $M=7,4$; 12.11.99, $M=7,2$), землетрясения на Тайване (21.09.99, $M=7,6$), в Греции (07.09.99, $M=6,6$); уже в этом году случились землетрясения в Китае (07.06.00, $M=6,5$) и в Японии (30.07.00, $M=6,5$). Наконец, последнее по времени землетрясение имело место непосредственно на российской земле — на

Таблица 1

Перечень энергетических объектов Перечень энергетических объектов Российской Федерации с возросшей оценкой нормативной сейсмичности

№ № п/п	Наименование энергообъекта	Нормативная сейсмичность		№ № п/п	Наименование энергообъекта	Нормативная сейсмичность	
		в период строительства	в настоящее время			в период строительства	в настоящее время
1	2	3	4	1	2	3	4
1	Абаканская ТЭЦ		7	29	Куйбышевская ГЭС		7
2	Аксаутская ГЭС	7	10	30	Кумская ГЭС		7
3	Артемовская ТЭЦ	6	6	31	Кизильская ТЭЦ	7	10
4	Ваксанская ГЭС	7	9	32	Майкопская ГЭС	6	9
5	Белореченская ГЭС	6	9	33	Майкопская ГРЭС	6	8
6	Бийская ТЭЦ-1		8	34	Миатлинская ГЭС	7	10
7	Богучанская ГЭС		7	35	Минусинская ТЭЦ		7
8	Братская ГЭС		6	36	Невинномысская ГРЭС	6	8
9	Бурейская ГЭС	6	8	37	Нивская ГЭС		7
10	Верхне-Терiberская ГЭС		7	38	Нижне-Камская ГЭС		7
11	Верхне-Тулomская ГЭС		7	39	Новосибирская ГЭС		8
12	Волжская ГЭС		7	40	Ондская ГЭС		7
13	Гертебильская ГЭС	7	10	41	Охинская ТЭЦ	7	10
14	Зараматская ГЭС	7	10	42	Пазское ГЭС		7
15	Зейская ГЭС	6	9	43	Пермская ГЭС		7
16	Зеленчукская ГЭС	7	9	44	Саратовская ГЭС		7
17	Егорлыкская ГЭС	6	8	45	Сахалинская ГРЭС	7	9
18	Иовская ГЭС		7	46	Саяно-Шушенская ГЭС	7	9
19	Ирганайская ГЭС	7	10	47	Серебрянская ГЭС		7
20	Иркутская ГЭС	8	9	48	Ставропольская ГРЭС	6	7
21	Иркутская ТЭЦ-1	7	9	49	Тебердинская ГЭС	7	10
22	Камская ГЭС		7	50	Усть-Среднеканская ГЭС	7	9
23	Киселоводская ТЭЦ	6	8	51	Чебоксарская ГЭС		7
24	Кольмская ГЭС	6	9	52	Чиркейская ГЭС	7	10
25	Князегубская ГЭС		7	53	Чир-Юртская ГЭС	7	10
26	Краснодарская ТЭЦ	6	8	54	Широковская ГЭС		7
27	Краснополянская ГЭС	7	10	55	Южно-Сахалинская ТЭЦ	7	9
28	Красноярская ГЭС		7	56	Юшкoзeрская ГЭС		7

Примечания: 1. Отсутствие данных в столбце «Нормативная сейсмичность в период строительства» означает расположение соответствующих объектов в зонах с интенсивностью сотрясений 5 и менее баллов и возможное их возведение без учета сейсмической опасности. 2. «Нормативная сейсмичность в настоящее время» приведена: для гидроэлектростанций по карте «С» ОСР-97 (средний период повторяемости сотрясений 5 000 лет); для теплоэлектростанций по карте «В» ОСР-97 (средний период повторяемости сотрясений 1000 лет).

острове Сахалин (04.08.00, $M=7,1$). Землетрясение причинило значительный материальный ущерб, в том числе привело к повреждениям Сахалинской ГРЭС, шести электроподстанций и вывело из строя около 10 км высоковольтных воздушных линий.

Не секрет, что для энергетических объектов их повреждение или разрушение имеет особую опасность, т.к. энергетические сооружения являются базовыми элементами хозяйственной инфраструктуры, а зачастую наши гидрэлектростанции — это пионерные объекты, выход которых из строя — это прекращение подачи электроэнергии потребителю и значительные материальные ущербы. Известно, что ремонт самих энергетических сооружений и инфраструктуры нижнего бьефа часто стоит значительно дороже, нежели первоначальные затраты на строительство сооружения и обеспечение его сейсмостойкости.

Анализ последствий многих разрушительных землетрясений свидетельствует о том, что в целом уровень сейсмостойкости подпорных гидротехнических сооружений выше такового для гражданских и промышленных сооружений. Так, при катастрофическом Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. интенсивностью в эпицентре 10 баллов ($M=6,8 - 7,0$), вызвавшем огромные разрушения в Армянской республике (21 город, 324 села, 230 промышленных объектов) и унесшем жизни более 25 тысяч человек, подпорные гидротехнические сооружения, оказавшиеся в зоне сильных (6 — 9 баллов) сейсмических сотрясений не претерпели серьезных повреждений. В результате комиссионного послесейсмического обследования 28 гидроузлов, в т.ч. 12 энергетического и 16 водохозяйственного назначения, видимые повреждения (трещины) были зафиксированы лишь на двух грунтовых плотинах: Карнутской и Халаварской высотой 35 и 32 м соответственно.

Тем не менее аварии ГТС по причине сейсмических повреждений исчисляются десятками, а если брать в расчет земляные дамбы, то и многими сотнями. Среди поврежденных при землетрясениях ГТС есть и высокие плотины практически всех типов и конструкций.

Приведем несколько примеров. Гравитационная плотина Койна (рис. 1) высотой 103 м в Индии была построена в районе, считавшемся малосейсмичным, но испытала землетрясение силой около 8 баллов и получила сквозные трещины в месте излома низовой грани, через которые происходила фильтрация.

Классическими примерами повреждения контрофорсных плотин при землетрясениях являются китайская плотина Синьфынцзян (рис. 2) и иранская плотина Сефидруд (рис. 3) высотой соответственно 105 и 106 м. Протяженные продольные трещины, образовавшиеся в обеих плотинах в результате сейсмических сотрясений, потребовали срочной сработки водохранилища и проведения серьезных ремонтных работ. Интересно отметить совершенно разный характер деформирования левобережной и правобережной частей плотины Сефидруд при землетрясении (рис. 3б).

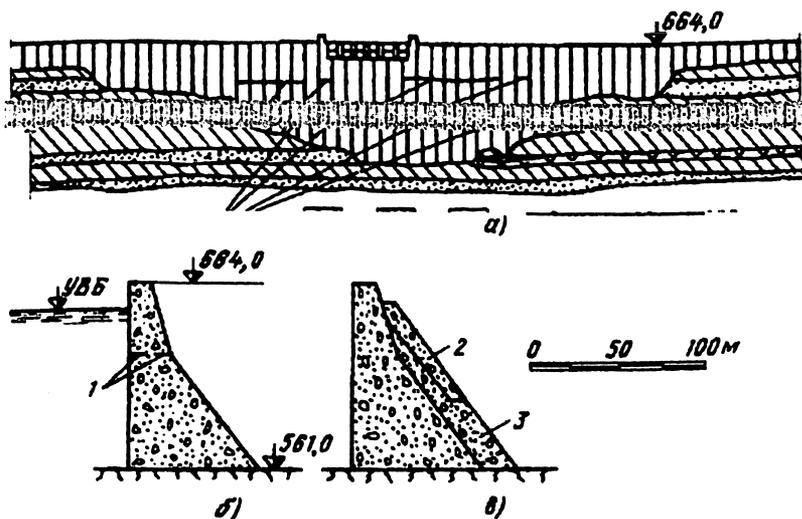


Рис. 1. Плотина Койна (Индия): а — разрез по верхней грани; б, в, — профиль плотины до и после реконструкции; УВБ - уровень верхнего бьефа во время землетрясения (653,7 м); 1 — трещины; 2 — контрфорс; 3 - монолитный бетон; 4 - массивные базальты; 5 — туфобрекнии; 6 — пузырьчатые траппы

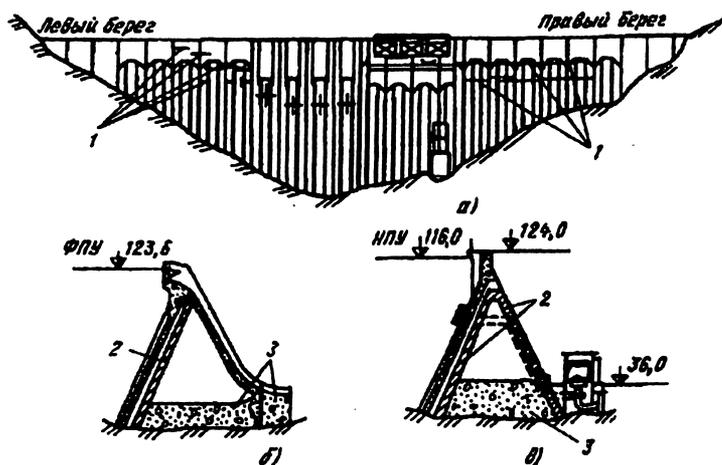


Рис. 2. Плотина Синьфынцзян (КНР): а - вид со стороны верхнего бьефа; б, в - поперечные разрезы по водосливной и станционной секциям соответственно; 1 - трещины; 2 - I стадия усиления; 3 - II стадия усиления

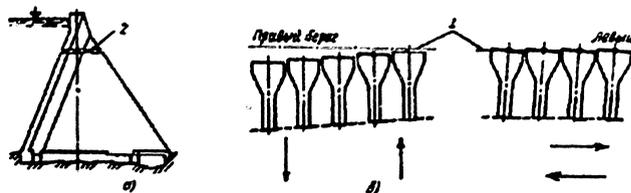


Рис. 3. Плотина Сефидруд (Иран): а - поперечный профиль; б — смещения право — левобережных секций плотины; 1 — ось плотин; 2 — трещины

Арочная плотина Пакойма высотой 113 м в Калифорнии (США) известна тем, что за свой век уже дважды испытала сокрушительные землетрясения. Первое — это землетрясение Сан-Фернандо в 1971 г. интенсивностью 9 баллов, в результате которого пострадало левобережное примыкание плотины: в теле сооружения образовались трещины глубиной до 16 м, раскрылись контакт устоя с основанием и шов между устоем и телом плотины. Плотина была отремонтирована, продолжала работать, а в 1994 г. при землетрясении Нортридж с $M=6,7$ получила новые повреждения, опять же приуроченные к левобережному примыканию: вертикальный шов между плотиной и устоем был раскрыт на 47 мм, зафиксировано трещинообразование в скальном массиве. При том же землетрясении Нортридж пострадала земляная плотина Сан-Фернандо Лоуэр высотой 43 м (рис. 4), где по длине 60 — 70 метров фронта сооружения произошло оползание верхового откоса на 25 м, отметка гребня понизилась на 7 с лишним метров, и катастрофа не произошла только потому, что в порядке подготовки к паводку водохранилище было сработано, и уровень воды оказался ниже нового гребня плотины.

Гравийно-галечниковая плотина Чир-Юрт — это уже российская плотина в Дагестане. В 1970 году при землетрясении на гребне плотины образовались 3 продольные вертикальные трещины, к счастью, оказавшиеся неглубокими. Верхняя часть плотины была заменена новым грунтом.

Аналогичный случай повреждения - каменно-набросная плотина Сёрджё высотой 57 м в Турции (рис. 5): трещины вдоль гребня плотины протяженностью до 150 м и максимальным раскрытием до 20 см.

Анализ этих и других фактических данных о поведении плотин при землетрясениях позволяет заключить, что характер повреждений существенно зависит от типа и конструктивных особенностей плотины.

Коротко остановимся на характерных видах повреждений при сейсме плотин разного типа (табл. 2).

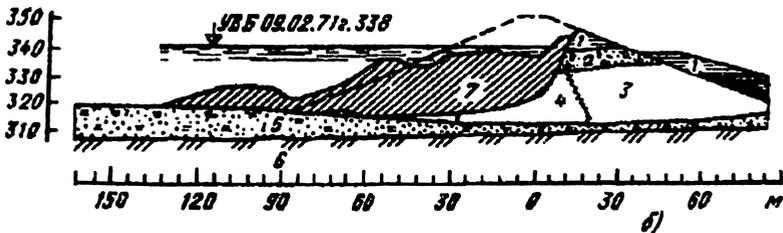
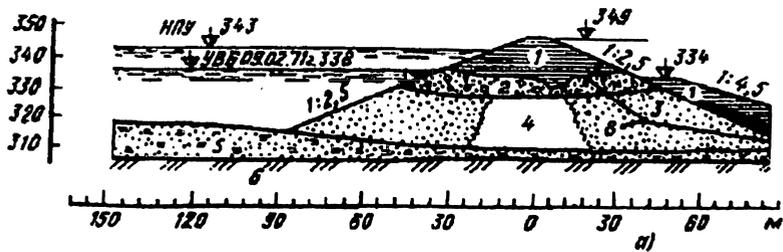
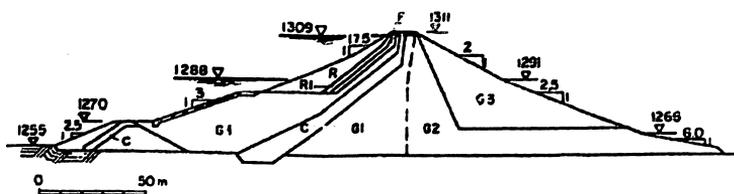


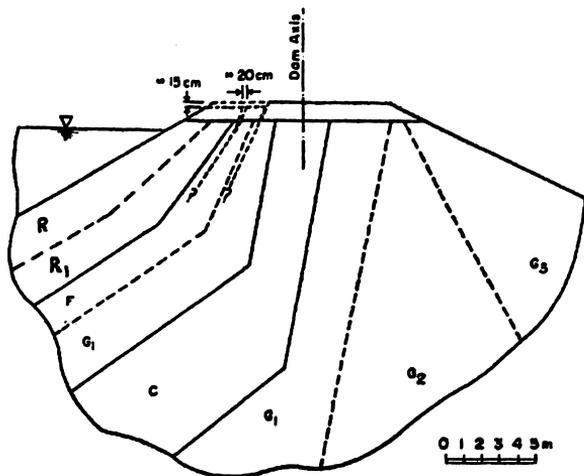
Рис. 4. Плотина Сан-Фернандо Лоуэр (США): а, б — профиль плотины до и после землетрясения соответственно; 1 — укатанный грунт; 2 — намытый грунт; 3 — намытый песчаный грунт; 4 — намытое глиняное ядро; 5 — аллювий; 6 — склад; 7 — призма оползания; 8 — кривая депрессии

Для бетонных плотин характерны следующие повреждения: раскрытие различного рода швов, в том числе по контакту плотины с основанием и примыканиями; образование трещин; смещение отдельных элементов плотины относительно друг друга; нарушение водонепроницаемости швов.

Образование трещин, их ориентация и глубина раскрытия зависят от интенсивности землетрясения и его длительности, спектрального состава, а также прочностных и деформативных свойств плотины и основания. Трещины приурочены к зонам концентрации напряжений, и поэтому имеют разные местоположения для разных типов плотин. В арочных плотинах трещины в первую очередь образуются в пригребневой и приподошвенной зонах плотины и имеют вертикальную или горизонтальную ориентацию. В гравитационных плотинах трещины, как правило, возникают в верхней трети-четверти сооружения или вблизи его подошвы и имеют обычно горизонтальную ориентацию с развитием от напорной грани к низовой с фильтрацией по этим трещинам. В контрфорсных плотинах трещи-



а)



б)

Рис. 5. Плотина Сёрджё: а — поперечное сечение; б — схема повреждений пригребневой зоны плотины; С — ядро (песчано-иловая глина); F — фильтровый материал; R — каменная наброска; R1 — дробленый камень; G1 — каменная наброска (интенсивно выветрелый гнейс); G2 — каменная наброска (крупноразмерный выветрелый гнейс); G3 — каменная наброска (умеренно выветрелый гнейс)

ны обычно приурочены либо к оголовку, либо к контрфорсам, причем в контрфорсах они ориентированы, чаще всего, нормально к низовой грани. Для контрфорсных плотин наиболее опасным считается поперечное относительно контрфорсов направление сейсма. Однако, как показали расчеты, выполненные нами для Зейской плотины, наиболее опасным для нее оказался продольный сейсм, действующий вдоль потока. Статистический анализ фактических данных о повреждениях бетонных плотин при землетрясениях свидетельствует о том, что если не предпринимать каких-то специальных антисейсмических мероприятий, то наибольшим уровнем сейсмостойкости обладают арочные плотины, потом гравитационные и на последнем месте — контрфорсные плотины.

В грунтовых плотинах повреждения могут быть связаны с потерей устойчивости откосов, с разжижением грунтов, со значительными осадками, образованием трещин и др. С точки зрения сейсмостойкости каменно-набросные и каменно-земляные плотины обладают более высоким уровнем несущей способности, чем земляные плотины; плотины на скальных основаниях более сейсмостойки, чем на нескальных; наименее сейсмостойки намывные плотины.

Таблица 2

Характерные виды повреждений плотин различного типа при землетрясениях

Тип плотины		Виды повреждений	Примеры (плотина, страна, дата и интенсивность землетрясения)
1.	Бетонные		
1.1.	Гравитационные	Субгоризонтальные трещины в верхней четверти (трети) сооружения и вблизи подошвы с развитием от верховой грани в сторону низовой. Относительные смещения элементов плотины по швам и трещинам	Койна (Индия) 10.12.67 г. M=6.5
1.2.	Контрфорсные и массивные с расширенными швами	Горизонтальные трещины в оголовках и наклонные (нормальные к низовой грани) или вертикальные трещины в контрфорсах. Относительные смещения элементов плотины по швам и трещинам	Синьфинцзян (Китай) 19.03.62 г. M=6.1 Сефядруд (Иран) июнь, 1990 г. M=7.6
1.3.	Арочные	Сначала раскрытие радиальных швов и (или) образование вертикальных трещин в пригребневой зоне плотины, затем образование субгоризонтальной трещины в верхней части или периметральной трещины в нижней части сооружения	Шайкья (США) 09.02.71 г. M=6.6; J=9 баллов; 17.01.94 г. M=6.7
2.	Грунтовые	Продольные трещины на гребне и откосах. Оползание верхового (редко – низового) откоса. Осадки. Поперечные трещины в примыканиях и жестком (бетонном) ядре	Чыр-Юрт (Россия) 14.05.70 г. J=9 баллов Сёрдже (Турция) 05.05.86 г. M=5.8-5.9
2.1.	Намывные и насыпные плотины из водонасыщенных несвязных грунтов	Разжижение	Сан-Фернандо Лоуэр (США) 09.02.71 г. M=6.6 17.01.94 г. M=6.7

Если исходить из фактических данных об авариях на плотинах, то основные сценарии повреждения плотин при землетрясениях могут быть сведены в три основные группы:

повреждения, связанные с истощением несущей способности самого тела плотины;

повреждения или аварии, связанные с нарушениями в основании или в примыкании плотины;

повреждения, связанные с обрушением в зону водохранилища крупного оползня или образованием в зоне водохранилища селевого потока.

Существует несколько подходов (воззрений) при решении вопроса: что же делать с гидротехническими сооружениями с точки зрения их сейсмической безопасности.

Первая точка зрения — оптимистическая — исходит из того, что гидротехнические сооружения обладают достаточными запасами внутренней прочности и могут вынести расчетное землетрясение, если они правильно спроектированы на восприятие нормальных статических нагрузок и аккуратно построены. Когда проектировалась Ингурская плотина, ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» очень активно выступал за отказ от выполнения специальных антисейсмических мероприятий, основывая это тем, что плотина обладает достаточным запасом сейсмостойкости, позволяющим ей выдержать землетрясение самостоятельно. Практика, однако, как было показано выше, не подтверждает эту точку зрения. Анализ аварии на той же плотине Пакойма показывает, что во время землетрясения берега ущелья сблизились на 24 мм и только благодаря тому, что плотина получила дополнительное обжатие, она не была разрушена растягивающими сейсмическими напряжениями. Легко представить, что если бы этого обжатия не было, или, хуже того, если бы имел место развал берегов, то плотина разрушилась бы, и густо населенная долина Калифорнии была бы смыта. Произошла бы катастрофа гигантского размера.

Вторую точку зрения можно назвать фаталистической. Она исходит из того, что какие бы меры мы не предпринимали, то, что должно случиться, все равно случится. Действительно, ведь мы рассчитываем сооружения с нормированным процентом обеспеченности, и всегда есть вероятность того, что воздействие будет более сильным, чем расчетное землетрясение. Максимум, на что мы считаем, — это максимальное расчетное землетрясение повторяемостью один раз в 10 000 лет, и если случится землетрясение, которое бывает 1 раз в 100 000 или в 1 000 000 лет, оно может разрушить сооружение.

Обе эти точки зрения совпадают в том, что можно с сооружениями ничего не делать для усиления их сейсмостойкости. Они, хотя

и противоречат друг другу по философии, но близки в том, что можно надеяться либо на само сооружение, на его запасы несущей способности, либо на господа Бога.

В действительности повысить сейсмостойкость сооружения, по крайней мере, до тех пределов, чтобы оно могло выдержать расчетное землетрясение повторяемостью раз за срок службы сооружения без повреждений или 1 раз в 10 000 лет с повреждениями, но без нарушения напорного фронта, возможно и необходимо. Для этого существует много способов. Один из них — развитие поперечного профиля плотины. Многоарочная плотина Литлрок $h=220$ м в США перестроена на более высокое, нежели принятое при проектировании, сейсмическое воздействие (рис. 6). Каменно-набросная плотина Матахина $h=85$ м в Новой Зеландии, согласно новейшим исследованиям, должна выдержать землетрясение на два балла больше, чем было принято при проектировании. Кроме того, при землетрясении ожидаются смещения по разлому в основании. После перестройки (рис. 7) сооружение, согласно проектным прогнозам, может выдержать сейсмическое воздействие с магнитудой 7,2, с пиковым ускорением 1,25g в горизонтальном направлении и 1,35g в вертикальном направлении. Это очень сильное землетрясение. Плотина может также выдержать смещение крыльев разлома в ее основании величиной до 3 м.

Другим способом антисейсмического усиления существующих плотин является постановка предварительно напряженных анкеров (например, ранее упоминавшаяся плотина Сефидруд в Иране).

Для грунтовых плотин повышение сейсмостойкости может быть достигнуто путем инъекции упорных призм. Особенно эффективно это мероприятие для плотин с призмами из гравийно-галечниковых грунтов, как это было сделано, правда не по сейсмическим соображениям, на Широковской ГЭС. Среди других способов повышения сейсмостойкости эксплуатируемых ГЭС следует назвать армирование тела плотины железобетонными сваями или арматурой, сейсмоизоляцию тела плотины от водохранилища с помощью воздушной или воздушно-пузырьковой завесы. Последнее направление активно разрабатывалось в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» под руководством профессора И.С.Шейнина, а Ленгидропроектом разработано несколько проектов таких завес, в частности наплавной воздушной завесы для арочной плотины Чиркейской ГЭС. На понтонах подвешиваются емкости с воздухом, который отсекает колебания воды в водохранилище при землетрясении от тела плотины; при этом сейсмическую нагрузку в каких-то случаях можно снизить на 15 — 20 %.

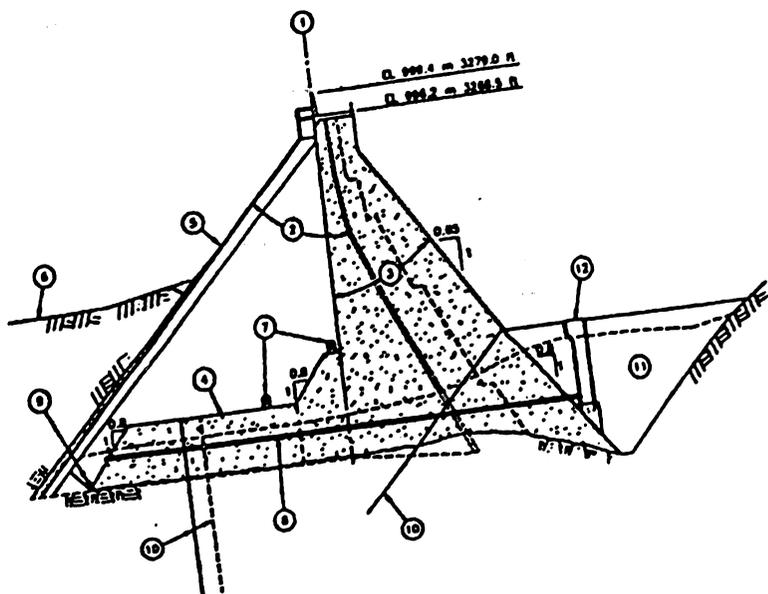


Рис. 6. Плотина Литлрок (США). Поперечный разрез по реконструируемой плотине: 1 — ось плотины; 2 — существующая плотина; 3 — новые контрфорсы из укатанного бетона; 4 — заполнение из укатанного бетона; 5 — покрытие торкретом толщиной 100 мм; 6 — поверхность отложений; 7 — потери высотой 1.5 м в контрфорсах; 8 — труба диаметром 400 мм; 9 — дренаж диаметром 300 мм в контрфорсах; 10 — дренажные скважины в основании; 11 — пригрузка; 12 — колодец.

Таким образом, способов обеспечить расчетную сейсмостойкость эксплуатируемого сооружения существует сегодня достаточно много, нужно лишь выбрать наиболее эффективный для рассматриваемых конкретных условий. Тем более просто предусмотреть необходимые меры по обеспечению сейсмостойкости при проектировании и строительстве сооружения. Для тех плотин, которые оказались в районах с повысившимся уровнем сейсмичности, в результате чего их проектные предпосылки не отвечают сегодняшним оценкам, необходимо последовательно, один объект за другим, пересматривать условия их сейсмостойкости и принимать необходимые меры. Следует отметить, что далеко не всегда возросшая сейсмичность влечет необходимость кардинальной перестройки плотины. Например, Зейская плотина была рассчитана на 7 баллов, а сейчас сейсмичность участка оценивается в 9 баллов. Уточненный расчет, выполненный

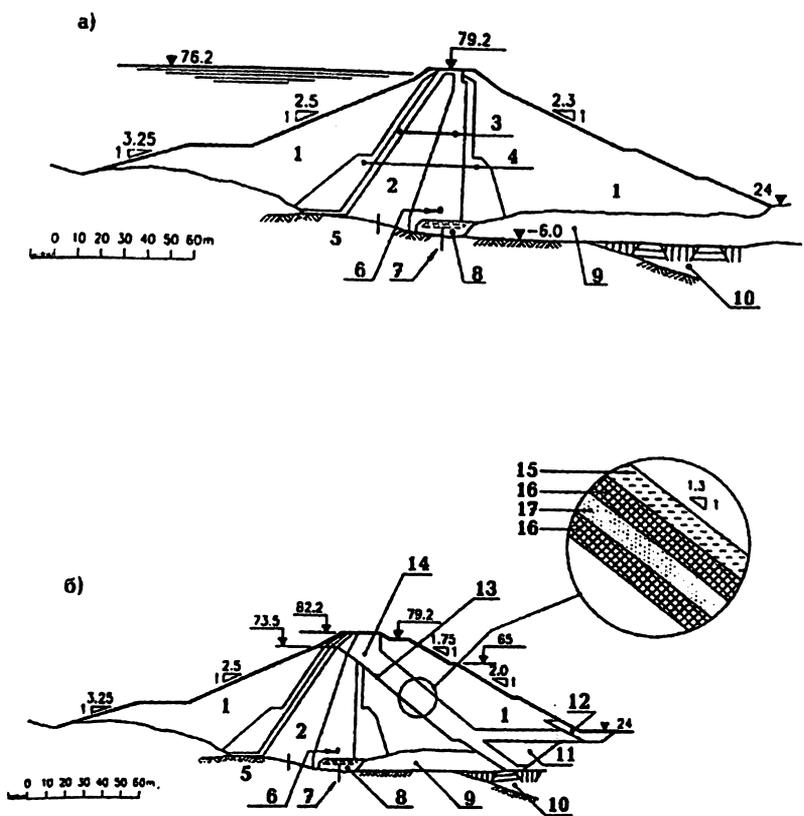


Рис. 7. Повышение сейсмостойкости плотины Матахина (Новая Зеландия) путем уширения ее поперечного профиля: а — поперечное сечение плотины до реконструкции; б — то же, после реконструкции; 1 — упорная призма из каменной наброски; 2 — ядро; 3 — внутренние переходные зоны; 4 — внешние переходные зоны; 5 — противодиффузионный шпунт; 6 — инспекционная галерея; 7 — дренажная завеса; 8 — поверхностный дренаж; 9 — аллювиальный гравий; 10 — ингимбрит (вулканическая порода); 11 — обратная засыпка из аллювия; 12 — крупный камень; 13 — контур выемки; 14 — фильтровая и дренажная зоны; 15 — дрена; 16 — переходный слой; 17 — фильтр.

в Центре службы геодинамических наблюдений, показал, что, хотя плотина при расчетном землетрясении получит очень обширное трещинообразование, после окончания сейсмического воздействия все трещины закроются, и напорный фронт будет сохранен. Послесейсмическая инъекция подвергшихся трещинообразованию зон сооружения с использованием современных технологий позволит полностью восстановить несущую способность плотины, после чего она сможет успешно эксплуатироваться и дальше.

МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Грошев М.Е., кандидат техн. наук
(«ЦСГНЭО — филиал АО «Институт Гидропроект»)*

За последние 10 лет нами выполнен большой объем расчетов по оценке реакции эксплуатируемых основных сооружений гидравлических и тепловых электростанций на сейсмические воздействия. Изучалась реакция на расчетное сейсмическое воздействие основных сооружений следующих гидроузлов: Красноярского, Иркутского, Колымского, Зейского, Саяно-Шушенского, Миатлинского, Чиркейского, Гергебильского, Верхне-Красногорского, Зеленчукского и др. Изучено также поведение при расчетном землетрясении основных сооружений следующих тепловых электростанций: Охинская ТЭЦ, Южно-Сахалинская ГРЭС, Сахалинская ТЭЦ и др. Все расчеты выполнялись для системы «сооружение-основание» в двухмерной или трехмерной постановке. При оценке сейсмостойкости подпорных гидротехнических сооружений учитывалось их взаимодействие с водохранилищем.

При выполнении расчетов учитывалось современное состояние сооружений и их оснований, полученное в результате выполненного инструментального обследования этих объектов, а также современные представления о возможном расчетном сейсмическом воздействии на эти сооружения. В расчетах на сейсмическое воздействие, как правило, учитывалось напряженно-деформированное состояние сооружений, обусловленное действием статических нагрузок. Для массивных сооружений это напряженно-деформированное состояние определялось с учетом фактической последовательности возведения каждого конкретного сооружения и его нагружения.

В первые годы расчеты сооружений проводились в два этапа. На первом этапе оценивалась их сейсмостойкость по регламентируемой действующими нормами квазистатической теории, базирующейся на определении частот и соответствующих им форм собственных колебаний и последующим вычислении инерционной нагрузки или напряжений при колебаниях по каждой форме, которые затем использовались для вычисления суммарной нагрузки (при оценке устойчивости сооружений) или суммарных напряжений (при оценке прочности конструкций). Сейсмическое воздействие в таких расче-

тах задавалось балльностью и нормативным коэффициентом динамичности или спектром действия, характерным для участка расположения сооружения. На втором этапе расчеты проводились по волновой теории при имитации сейсмического воздействия аналоговыми или синтезированными двухкомпонентными или трехкомпонентными акселерограммами, определяемыми индивидуально для каждого сооружения. При таком подходе обычно оценивается максимальное за время землетрясения напряжение (усилие) в каждой точке или элементе конструкции, а также изменение этого напряжения (усилия) во время землетрясения (в том числе и коэффициента запаса на сдвиг по заданной поверхности при оценке устойчивости сооружения). Двухэтапная схема ретроспективных расчетов сейсмостойкости позволила оценить адекватность получаемых при этом результатов. В последние годы, в связи с накоплением опыта, мы практически отказались от расчетов сейсмостойкости основных сооружений гидроузлов по квазистатической теории и все расчеты выполняем в рамках волнового подхода к проблеме сейсмостойкости. При оценке сейсмостойкости основных сооружений энергетических объектов нами использовались собственные программные средства, а также широко внедряемые в настоящее время зарубежные универсальные вычислительные пакеты (COSMOSM, MARC).

В качестве примера на рисунке (цветная вкладка) приведена конечно-элементная модель Миатлинской арочной плотины с вмещающим ее блоком основания, которая была использована при ретроспективной оценке сейсмостойкости плотины. На этом рисунке выделены зоны с различными значениями деформационных характеристик системы «сооружение — основание».

Опыт применения для анализа сейсмостойкости различных сооружений зарубежных универсальных вычислительных пакетов показал, что при использовании сложных двумерных и трехмерных схем, учитывающих взаимодействие сооружения с основанием, они не позволяют получить достоверный прогноз поведения сооружения при землетрясении. Это связано с тем обстоятельством, что задаваемое сейсмологами воздействие, как правило, относится к непригруженной поверхности основания, а во многих универсальных пакетах такое воздействие может быть задано лишь в узлах, расположенных на границах учитываемого блока основания и выделяющих его из полуплоскости (двухмерная задача) или полупространства (трехмерная задача). Это особенно актуально для массивных сооружений (плотин, фундаментов турбоагрегатов и т.д.). Поэтому в последние годы наряду с расчетами конкретных сооружений нами

велись методические работы, связанные с разработкой специальных вычислительных программ, расширяющих возможности применения универсальных вычислительных комплексов для обоснования сейсмостойкости энергетических сооружений. Примером такой работы является специализированная программа, позволяющая по заданному сейсмологами воздействию на непригруженной поверхности основания в результате выполнения специальных расчетов вычислить хронограммы ускорений (скоростей или перемещений) на границе учитываемого блока основания, задание которых в расчетах данного блока основания позволяет получить рекомендованные сейсмологами хронограммы ускорений в соответствующей области. Эта программа в настоящее время зарегистрирована в Роспатенте [1]. Опыт ее применения показал, что спектр реакции редуцированного на границу учитываемого блока основания воздействия существенно возрастает в высокочастотной области и значительно снижается в низкочастотной области. Этот эффект выражен тем сильнее, чем больше размеры учитываемого блока основания.

Вторая, разработанная нами специализированная программа, предназначена для вычисления присоединенной к верховой грани плотин массы воды, которая в универсальных вычислительных пакетах может моделироваться элементами массы, задаваемыми в узлах на верховой грани плотины, и таким образом учитывать взаимодействие сооружения с водохранилищем. При этом величина присоединенной массы в конкретной точке в общем случае различна в разных направлениях, т.е. пропорциональна проекции примыкающей к узлу площади на соответствующее направление. Корректность получаемой таким образом присоединенной массы проверялась сопоставлением расчетных частот и форм собственных колебаний Саяно-Шушенской и Чиркейской плотин при различных уровнях верхнего бьефа с данными, полученными при натурных динамических испытаниях этих сооружений, а также с данными, полученными при анализе зарегистрированных на указанных сооружениях малоамплитудных колебаний.

Обобщение полученных результатов расчетов показывает, что обосновать сейсмостойкость многих уже давно эксплуатируемых сооружений энергетических объектов в рамках линейной теории упругости не представляется возможным. Так, суммарные напряжения (статические и сейсмические) в несущих конструкциях главных корпусов Сахалинских тепловых станций (до 2000 МПа в ригелях и до 1170 МПа в колоннах) существенно превышают не только предел прочности материала на растяжение (220 МПа), но и предел

его текучести (345 МПа). Значительные сейсмические напряжения были получены и при анализе сейсмостойкости дымовых труб Сахалинских ТЭЦ (до 41 МПа). Суммарные растягивающие напряжения во многих бетонных плотинах также значительно превышают прочность материала на растяжение. Так в Саяно-Шушенской плотине они достигают 12,3 МПа, в Чиркейской — 6,5 МПа, а в Миатлинской — 16,6 МПа. Высокий уровень суммарных напряжений в сооружениях энергетических объектов во многих случаях обусловлен повышением уровня сейсмичности районов их расположения.

Очевидно, что при приведенных выше сейсмических напряжениях в строительных конструкциях главных корпусов и дымовых труб тепловых станций, возникающих при расчетном землетрясении, следует ожидать их полного разрушения, так как разрыв ригеля или колонны неминуемо приведет к разрушению корпуса в целом. Однако высокий уровень растягивающих сейсмических напряжений в массивных бетонных сооружениях еще не свидетельствует о том, что они могут быть разрушены при расчетном землетрясении. Поэтому весьма актуальным становится вопрос об оценке реальной несущей способности различных сооружений энергообъектов. Получить такую оценку можно лишь на базе применения теоретических построений более общего типа, учитывающих не только фактические деформационные, но и реальные прочностные свойства используемых материалов. Поэтому второе направление наших методических работ связано с разработкой алгоритмов и вычислительных программ, позволяющих учитывать в расчетах основных сооружений гидравлических и тепловых станций все основные факторы, влияющие на формирование НДС сооружений в строительный период и последующее его изменение во время эксплуатации, а также при землетрясениях.

На основании накопленного опыта мы уже достаточно давно отказались от традиционной формулировки метода конечных элементов (МКЭ) в перемещениях, и все расчеты выполняем в скоростях, используя для этого модифицированную нами неявную схему прямого интегрирования Ньюмарка. Данная схема может эффективно использоваться как при решении динамических задач, так и статических. В последнем случае решение упругой задачи может быть получено на одном временном шаге. Эта схема весьма удобна при моделировании последовательности возведения массивных сооружений и их нагружения внешними воздействиями, так как не требует задания специальных условий на границах этапов, характерных для МКЭ в традиционной постановке. Она также позволяет

при решении динамических задач отказаться от граничных условий в перемещениях на поверхностях, выделяющих учитываемый блок основания из полуплоскости (двухмерная задача) или полупространства (трехмерная задача) и, следовательно, более корректно реализовать условия свободного пропускания продольных и поперечных волн через эту границу в расчетах на сейсмическое воздействие. Вместо кинематических граничных условий используются силовые, численные значения которых определяются в каждом узле аппроксимирующей сетки из условия равновесия рассматриваемой системы «сооружение-основание» при действии статических нагрузок.

Изложенная выше общая схема решения краевых задач позволяет достаточно просто учесть в расчетах ограниченность напряжений в сооружении и основании, обусловленную прочностными свойствами материалов. Это достигается корректировкой получаемых на каждом временном шаге напряжений с учетом прочностных свойств соответствующего материала, т.е. применением различных математических моделей, достоверно описывающих поведение конкретных материалов.

В рамках данного направления разработаны математические модели бетона и грунта, базирующиеся на соотношениях классической теории пластического течения с упрочнением. При этом учитываются не только прочностные и деформативные свойства этих материалов при медленном (статическом) изменении их напряженного состояния, но и особенности поведения материалов при динамических (сейсмических) воздействиях. Сопоставление расчетного прогноза поведения бетонных образцов при их нагружении по различным траекториям с полученными Н.В. Купфером данными многочисленных испытаний бетона, а также с результатами, полученными в специальных опытах в МИСИ [2], свидетельствует о том, что разработанная модель бетона достаточно достоверно описывает его поведение во всем диапазоне изменения напряжений. Модель позволяет воспроизводить в расчетах образование в сооружении произвольно ориентированных локальных трещин и последующую работу материала в зоне таких трещин только на сжатие. Такая модель была использована для изучения реальной реакции Зейской массивно-контрфорсной плотины на сейсмическое воздействие. При проектировании расчеты этой плотины были выполнены на сейсмическое воздействие интенсивностью 7 баллов, а в результате последующего уточнения сейсмических условий она была повышена до 9 баллов. Очевидно, что в этом случае обосновать сейсмостойкость плотины в рамках линейной теории упругости не удалось, так

как были получены весьма высокие растягивающие напряжения во всей плотине, а коэффициент запаса на сдвиг по контакту плотины с основанием во время расчетного землетрясения достаточно продолжительные промежутки времени был меньше 1. Поэтому для проверки ее реальной несущей способности потребовалось привлечение более сложных теоретических построений. В качестве примера на рис. 1 показано положение локальных трещин в теле плотины Зейского гидроузла после окончания сейсмического воздействия с пиковым ускорением $0,45 g$. Расчеты показали, что при таком воздействии в плотине образуются многочисленные и достаточно протяженные трещины. Однако после окончания землетрясения они закрываются. Об этом свидетельствует наличие сжимающих вертикальных напряжений в нижней части верхового оголовка после окончания землетрясения. Об устойчивости сооружения в целом против сдвига по контакту с основанием свидетельствует то обстоятельство, что коэффициент запаса на сдвиг во время землетрясения и после его окончания оказывается больше 1 (рис. 2). Приведенные результаты расчета плотины Зейского гидроузла убедительно свидетельствуют об эффективности применения данной модели бетона для оценки реальной несущей способности бетонных сооружений при действии статических и сейсмических нагрузок. Эта же модель может быть использована и для описания прочностных и деформативных свойств скального основания.

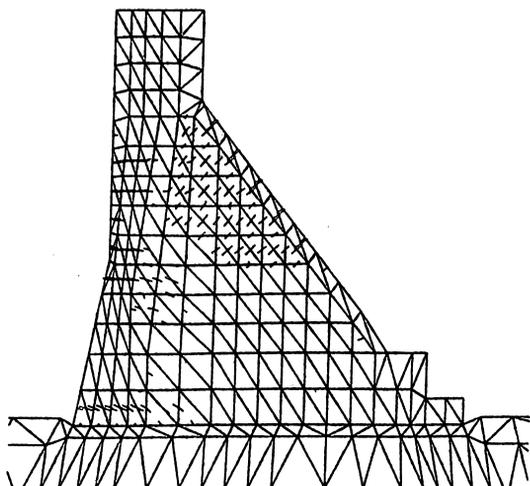


Рис. 1. Расчетное положение локальных трещин в теле Зейской плотины после окончания сейсмического воздействия с пиковым ускорением $0,45 g$.

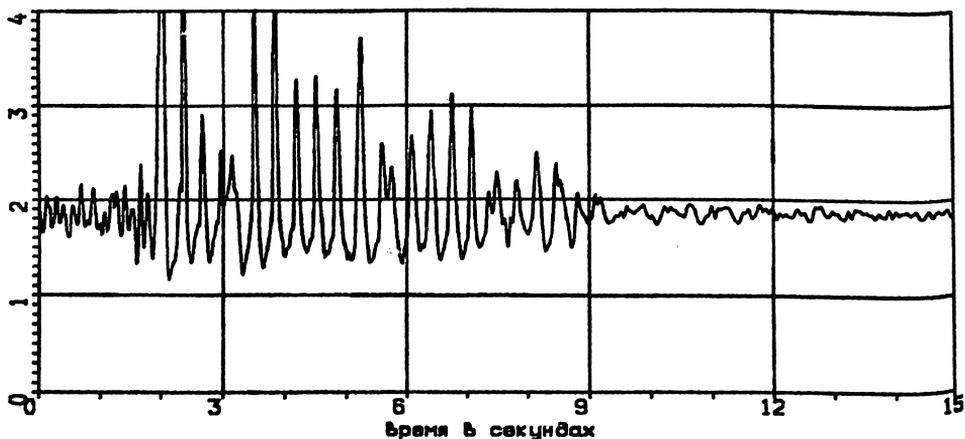


Рис. 2. Изменение во времени коэффициента запаса на сдвиг по контакту с основанием Зейской плотины.

При анализе сейсмостойкости грунтовых плотин и массивов в двухмерной постановке уже давно используется разработанная нами вычислительная программа, в которой реализована базирующаяся на соотношениях теории пластического течения модель грунта [2]. Эта программа была использована в ретроспективных расчетах грунтовых плотин России, построенных в сейсмически активных районах, а также для обоснования сейсмостойкости грунтовых плотин, проектирование которых велось в АО «Институт Гидропроект», АО «Совинтервод» и др. В качестве примера на нижнем рисунке на цветной вкладке приведена расчетная схема Иркутской грунтовой плотины, использованная в ретроспективных расчетах ее сейсмостойкости.

На рис. 3 показано изменение во времени вертикальных ускорений на гребне Иркутской плотины при расчетном сейсмическом воздействии с пиковым ускорением $0,4\text{ g}$, а на рис. 4 — вертикальных смещений гребня плотины.

Анализ приведенных результатов показывает, что сейсмическое воздействие вызывает развитие в плотине остаточных смещений (рис. 4). Однако плотина может выдержать заданное сейсмическое воздействие без каких-либо повреждений. Об этом свидетельствует затухание ускорений и смещений после окончания землетрясения.

В настоящее время разработана вычислительная программа для расчетов грунтовых плотин и массивов в трехмерной постановке, в которой реализована зарегистрированная в Роспатенте математическая модель грунта [3], базирующаяся на соотношениях классической теории пластического течения с упрочнением.

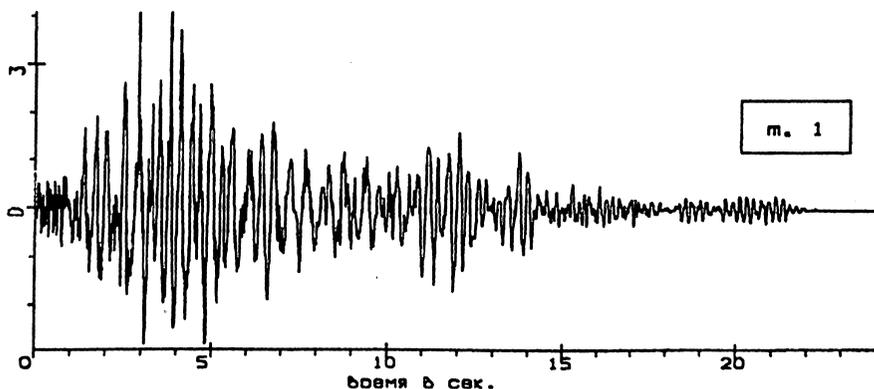


Рис. 3. Изменение во времени вертикальных ускорений (м/с^2) на гребне плотины при расчетном сейсмическом воздействии.

Третье направление нашей деятельности связано с разработкой специализированных программных средств, позволяющих по записям во время землетрясения кинематических параметров в отдельных точках определять полное напряженно-деформированное состояние сооружений после окончания землетрясения или хронограммы напряжений в наиболее нагруженных зонах. При этом во время землетрясения, по нашему мнению, следует регистрировать скорости смещений.

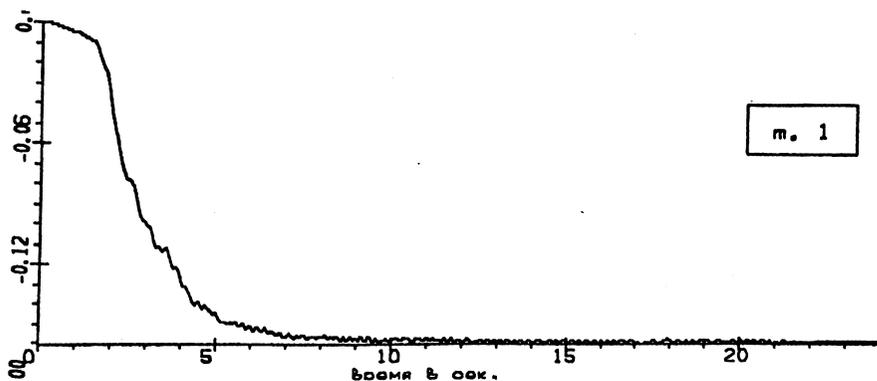


Рис. 4. Изменение во времени вертикальных смещений (м) на гребне плотины при расчетном сейсмическом воздействии

В связи с существенно нелинейной реакцией на землетрясения грунтовых плотин и массивов для оценки последствий землетрясения применительно к этим сооружениям используется следующий

подход. Сначала выполняются расчеты сооружения на несколько акселерограмм с различным частотным составом и разным уровнем воздействия, по результатам которых формируется компьютерная база. Затем, после регистрации кинематических параметров в какой-либо точке с помощью специального программного модуля, определяются основные параметры сейсмического воздействия: пиковое ускорение, эффективная длительность колебаний и преобладающая частота. По этим данным с помощью другого программного модуля в имеющейся базе данных отыскивается соответствующее им напряженно-деформированное состояние сооружения после окончания сейсмического воздействия.

Изложенный подход реализован применительно к грунтовой плотине Иркутского гидроузла, а для его проверки были выполнены дополнительные расчеты плотины на произвольное сейсмическое воздействие. Полученные в этом расчете хронограммы скоростей на гребне плотины были использованы в качестве приборных записей для последующего вычисления напряженно-деформированного состояния сооружения после землетрясения по изложенной выше схеме. Сопоставление вычисленных таким образом напряжений и остаточных смещений в теле плотины с полученными в прямом расчете показало их хорошее согласование и эффективность такого подхода к оценке последствий землетрясения.

При оценке поведения во время землетрясения бетонных сооружений и металлических конструкций используется другой подход. В этом случае по предварительно выполненным расчетам сооружения вычисляются две группы передаточных функций, одна из которых связывает хронограммы кинематических параметров (скоростей или ускорений) в местах установки датчиков с хронограммами напряжений в наиболее нагруженных зонах, а вторая связывает сейсмическое воздействие с хронограммами напряжений в наиболее нагруженных точках. После регистрации во время землетрясения кинематических параметров в некоторой точке с помощью первой группы передаточных функций могут быть получены хронограммы напряжений в наиболее нагруженных зонах, а вторая группа передаточных функций позволяет достаточно быстро проверять реакцию сооружения на произвольно заданное сейсмическое воздействие.

Данный подход реализован применительно к зданию ГЭС Иркутского гидроузла и для массивно-контрфорсной плотины Зейского гидроузла, а его эффективность проверялась на примере Зейской плотины. Полученные в дополнительном расчете этой плотины на произвольное воздействие хронограммы скоростей на гребне были

использованы в качестве приборных записей для вычисления хронограмм напряжений в наиболее нагруженных зонах, которые полностью совпали с полученными в прямом расчете хронограммами напряжений в этих зонах. Описанные программы также зарегистрированы в Роспатенте [4,5].

Выводы

ЦСГНЭО в настоящее время располагает мощным вычислительным аппаратом, включающим зарубежные лицензированные программные средства и собственные программные средства зарегистрированные в Роспатенте, а также имеет специалистов, в совершенстве владеющих этими программными средствами. Это позволяет выполнять расчеты всех сооружений гидравлических и тепловых электростанций на все виды нагрузок и воздействий при корректном учете всех значимых факторов формирования НДС в строительный период и во время эксплуатации. Имеющиеся программные средства детально апробированы систематическим сопоставлением результатов расчетов с данными экспериментальных, натуральных и расчетно-теоретических исследований и позволяют не только определять НДС сооружений при различных сочетаниях нагрузок и воздействий, но и моделировать различные сценарии развития нештатных ситуаций с оценкой фактической несущей способности сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бронштейн В.И., Грошев М.Е.** Программа редукции исходной акселерограммы (велосиграммы, сейсмограммы) на граничную поверхность расчетного блока основания. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 990876. Роспатент. 1999.
2. **Шаблинский Г.Э., Грошев М.Е., Коробцева О.В., Степанова Н.Л.** Применение теории пластического течения для описания деформативности и прочности бетона в условиях двухосного нагружения. М.: «Строительство и архитектура». 1991.
3. **Бронштейн В.И., Грошев М.Е.** Трехмерная математическая модель деформирования грунтовых сред при действии статических и динамических нагрузок. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 990876. Роспатент. 1999.
4. **Бронштейн В.И., Грошев М.Е.** Расчетная оценка сейсмонапряженного состояния земляных плотин по записям кинематических параметров их колебаний. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 980582. Роспатент. 1998.
5. **Бронштейн В.И., Грошев М.Е.** Расчетная оценка сейсмонапряженного состояния массивных бетонных плотин по записям кинематических параметров их колебаний. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 980290. Роспатент. 1998.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРО- И ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

*Кондрашкин А. В., инженер, Кривоногова Н. Ф., Щемелин В. В.,
кандидаты геол.-минер. наук. (ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева)*

Геофизические методы уже 70 лет успешно применяются в практике инженерных изысканий для гидротехнического строительства. В 1970–80 гг. специалистами ведущих проектно-изыскательских и научно-исследовательских организаций Минэнерго СССР проделана большая работа по внедрению геофизических методов для изучения динамики техногенных изменений свойств и состояния скальных оснований на строящихся гидроэнергетических объектах. К сожалению, несмотря на ряд успешных примеров геофизические методы до настоящего времени не имеют надлежащего применения при инженерно-геологическом обследовании плотин и участков размещения гидроузлов в период их эксплуатации. Геофизические исследования в эксплуатационный период носят эпизодический характер, их состав и методика не регламентированы действующими нормативными документами.

Указанная ситуация во многом объясняется тем, что у специалистов эксплуатирующих организаций сложилось не вполне обоснованное мнение о том, что проблемы инженерно-геологического мониторинга можно решить исключительно средствами стационарных систем КИА. Об ошибочности такой точки зрения свидетельствует анализ аварийных и экстремальных ситуаций на многих отечественных и зарубежных объектах.

Неблагоприятные и опасные изменения прочностных, деформационных и фильтрационных свойств материалов грунтовых плотин и оснований обычно развиваются локально — в ограниченных по объёму зонах (первичных очагах), которые способом точечных стационарных наблюдений могут быть выявлены только случайным образом. Нередко о наличии таких очагов можно судить после появления видимых деформаций и повреждений сооружения или ореолов разгрузки фильтрационных вод и суффозионных выбросов в нижнем бьефе. Необходимо учитывать, что очаги многих опасных и неблагоприятных геологических процессов могут формироваться и во внешней среде, на глубинах и площадях, недоступных для стационарных систем КИА, размещаемых, как правило, только на участке основных сооружений. Поэтому техногенные изменения гео-

логической среды в зоне влияния водохранилищ и на территории нижнего бьефа в целом пока ещё контролируются слабо. Существует также проблема долговечности и надёжности самих систем КИА, даже на наиболее крупных и хорошо технически оснащённых объектах гидроэнергетики. Помещённые в тело плотины и её основание датчики и линии коммутации часто недоступны для дальнейшего обслуживания и контроля. Отказы датчиков, утрата стабильности их технических характеристик и случайные повреждения оборудования являются «нормальной» практикой при длительной эксплуатации систем КИА. Их восстановление сопряжено с большими затратами и силами эксплуатирующих организаций и не может быть выполнено в оперативном порядке.

Из сказанного следует, что для надёжного решения задач инженерно-геологического мониторинга при эксплуатации гидротехнических сооружений необходимо рационально сочетать традиционные способы стационарных натуральных наблюдений с мобильными дистанционными методами изучения тела плотин, их оснований и вмещающей геологической среды. Поэтому актуальным остаётся вопрос более широкого использования геофизических методов, которые были и остаются самым мобильным и экономичным средством изучения неоднородностей строения и состояния естественных и техногенных грунтовых массивов.

Выполненный лабораторией инженерной геологии и геокриологии ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» анализ причин и хронологии повреждения и разрушения грунтовых плотин более чем по 80 объектам показал, что их очаги и источники в большинстве случаев могли быть уверенно и заблаговременно выявлены геофизическими методами, если бы соответствующие работы на них выполнялись. Нельзя, конечно, сбрасывать со счетов экономический фактор, втягивая заказчиков в бесконечные и излишние исследования. Вопрос о том, в каком объеме, составе, с какой периодичностью проводить геофизические исследования, требует серьезного обсуждения и проработки таких рекомендаций. Точки зрения специалистов могут быть разными, но есть ряд очевидных моментов. Особого внимания грунтовые плотины требуют в начальный период эксплуатации, после прохождения значимых сейсмических событий или иных экстремальных воздействий, во всех случаях выявления признаков внештатной работы сооружений, т.е. внезапные изменения расходов фильтрации и т.п.

Наблюдения за характером и динамикой изменений температурного поля грунтовых плотин и их оснований имеют важнейшее значение при изучении криогенных процессов и ряда фильтрацион-

ных задач. Они безусловно необходимы для объектов Северной строительной- климатической зоны (ССКЗ), при возведении плотин на многолетнемёрзлых основаниях. Поэтому системы стационарного температурного контроля оборудуются на большинстве гидроэнергетических сооружений ССКЗ и в настоящее время развёрнуты на десятках действующих объектов. Большинство специалистов эксплуатационных служб хорошо знакомо с техническими средствами стационарного температурного контроля.

Глубинность и детальность стационарных систем температурного контроля ограничивается по экономическим соображениям, т.к. для их оборудования требуется бурение скважин. Эксплуатационная надёжность таких систем пока ещё недостаточно высока. Их рабочие части конструктивно представляют собой гирлянды терморезисторов, помещаемых непосредственно в толщу грунта или в обсаженные стволы скважин. Тарировка датчиков выполняется, как правило, однократно, и дальнейшая их метрологическая поверка представляет серьёзную проблему.

Метод термометрии успешно применяется и для решения фильтрационных задач: для оценки скорости фильтрации, выявления очагов и зон сосредоточенной фильтрации, оконтуривания областей циркуляции подземных вод различного генезиса. Для фильтрационных исследований наряду со стационарными системами могут применяться переносные скважинные и наземные приборы. Такие исследования могут проводиться в вариантах долговременных режимных или разовых наблюдений (термокаротаж, термозондирование), в скважинах или в доступных для измерений очагах питания и разгрузки фильтрационных вод. Параллельно должны наблюдаться изменения температурных условий в верхнем бьефе сооружения. Применимость скважинных температурных наблюдений для фильтрационных исследований на больших территориях ограничивается теми же факторами, что и при геоэкологическом мониторинге.

Методы электрометрии основаны на изучении электромагнитных свойств грунтов и подземных вод, а также естественных электрических полей, связанных с явлениями фильтрации или миграцией влаги при криогенных процессах. Из большого разнообразия существующих способов электрометрии для решения задач, актуальных при обследовании грунтовых плотин и их оснований, а также при мониторинге природно-техногенной системы «гидросооружение-геологическая среда», в первую очередь могут быть рекомендованы наземные модификации методов сопротивлений и естественного электрического поля. Они позволяют выявлять

неоднородности строения и состояния грунтовых массивов, изучать фильтрацию подземных вод по результатам наблюдений, выполняемых на дневной поверхности (с гребня и открытых откосов плотины, на акватории и берегах водохранилища, а также территории нижнего бьефа при любых условиях местности). Для полевых наблюдений применяется переносная малогабаритная аппаратура, серийно изготавливаемая отечественными и зарубежными фирмами для целей инженерных изысканий. Преимуществом отечественных приборов является их приспособленность к работе в жёстких климатических условиях. Зарубежная аппаратура отличается более высоким уровнем автоматизации измерений и обработки первичной информации, но имеет высокую стоимость.

Из отечественных приборов для электрометрических исследований методами сопротивлений и естественного поля можно рекомендовать комплект аппаратуры ЭРА, выпускаемой в г. С-Петербурге. Она надёжна в эксплуатации, имеет защиту от промышленных помех, оснащена разнообразными периферийными средствами, которые позволяют выполнять наблюдения практически при любых условиях на дневной поверхности (при наличии асфальтовых и бетонных покрытий, снежного и ледового покрова, сезонномёрзлого слоя и т.п.).

Наиболее эффективными вариантами электрометрии тела грунтовых плотин и их оснований являются модификации методов вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электропрофилирования (ЭП). Метод ВЭЗ даёт полную информацию о неоднородности разреза грунтовых массивов, позволяя выделять в них слои, линзы и другие образования, сложенные грунтами с разной величиной удельного электрического сопротивления (УЭС). При этом количественно могут быть охарактеризованы глубина залегания, мощность, протяжённость и значения УЭС каждой выявленной структурной неоднородности. Метод ЭП применяется в случаях, когда полная характеристика разреза не является обязательным требованием для определения планового положения локальных неоднородностей и их простираения в пределах изучаемой территории (картирование тектонических нарушений и ослабленных зон, таликов, островной мерзлоты, подземных льдов и т.п.).

Реальные значения УЭС грунтов и подземных вод имеют очень широкий диапазон: от десятых долей до сотен тысяч омметров. Методы сопротивлений позволяют выявлять неоднородности с различием значений УЭС от 10% и более. Основные природные факторы, определяющие общие и местные закономерности дифференциации грунтов или подземных вод по величинам УЭС в настоящее время хорошо изучены.

Различия УЭС подземных вод объясняются в основном разной степенью их минерализации и дополнительно зависят от температуры.

Различия грунтов по величине УЭС тесно связаны с особенностями их состава, пористости, влажности, структуры порового пространства и физических характеристик воды, частично или полностью наполняющей поры минерального скелета. С физической точки зрения грунт можно рассматривать как систему, представленную непроводящим субстратом (большинство породообразующих минералов, лёд, воздух) и проводящими компонентами в твёрдом (чаще всего минералы типа глины) или жидком состоянии (вода в гравитационной, капиллярной и связанной форме). При прочих равных условиях повышенными значениями УЭС отмечаются скальные, грубообломочные, мёрзлые, маловлажные или насыщенные пресными водами грунты. Пониженные значения УЭС характерны для нескальных, тонкодисперсных, талых и водонасыщенных грунтов (особенно в присутствии подземных вод с сильной минерализацией). Количественные критерии для идентификации состава и состояния грунтов по величине УЭС применительно к конкретным природным условиям изучаемого участка могут быть уточнены по материалам инженерных изысканий, геологической разведки, а также параметрических исследований.

В соответствии с изложенным методы сопротивлений могут быть рекомендованы при обследовании грунтовых сооружений и их оснований для решения следующего круга задач:

выявления и оконтуривания неоднородностей, сложенных грунтами различного литолого-минерального и фракционного состава, пористости, влажности и криогенного состояния;

оценки глубины залегания уровня подземных вод и мощности зоны аэрации, оконтуривания ореолов развития подземных вод с разной минерализацией;

выявления и оконтуривания скрытых дефектов грунтовой среды (тектонических нарушений, ослабленных зон, карстовых и техногенных полостей и др.).

При постановке режимных электрометрических наблюдений можно качественно и количественно охарактеризовать динамику изменений криогенного состояния, влажности, льдистости и пористости (трещиноватости) грунтов под влиянием техноприродных воздействий или в результате специальных инженерных мероприятий (цементация, искусственное охлаждение или оттайка и т.п.).

Наряду с наземными модификациями существуют скважинные и комбинированные методы электрометрии. Они могут использо-

ваться для оценки действительной скорости и путей сосредоточенной фильтрации способом электролитической индикации подземных вод. Однако для решения указанных задач методами электрометрии это требование не является обязательным, т.к. имеются методики, позволяющие проследить движение солевого индикатора в массиве грунтов и наземными средствами. Технологией таких работ располагают специалисты ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева».

Комплексное применение методов сопротивления и термометрии позволяет выявить особенности поведения грунтов при отрицательных температурах, связанные со спецификой местных природных условий. В частности могут быть дифференцированы переохлаждённые, пластично и твёрдомёрзлые разности грунтов, что особенно важно при возведении сооружений в регионах развития сильно минерализованных подземных вод (Восточная Сибирь, Якутия, Чукотка).

Метод естественного электрического поля (ЕП) позволяет дистанционно выявлять потоки сосредоточенной фильтрации. Физические предпосылки указанного метода основаны на том, что движение водных растворов через любую пористую среду обязательно сопровождается появлением т.н. электрокинетических полей. Факторы, определяющие их характер и интенсивность, хорошо изучены. Поэтому выявление фильтрационных аномалий ЕП, как правило, выполняется с большой надёжностью. Очаги инфильтрации на подводной части сооружения или в ложе водохранилища отмечаются отрицательными аномалиями естественных электрических потенциалов интенсивностью от нескольких десятков до сотен милливольт, области разгрузки фильтрационных потоков - положительными аномалиями потенциалов ЕП. С технической точки зрения поиски очагов инфильтрации в верхнем бьефе и зон разгрузки фильтрационных потоков в нижнем бьефе сооружения являются сравнительно простой задачей. Более сложен вопрос изучения очагов разгрузки фильтрационных вод в теле дренажных сооружений, т.к. они «экранируются» слоем грубообломочных техногенных грунтов, неблагоприятных для рассматриваемого метода.

Принципиально возможно применение метода ЕП для характеристики процессов фазовых превращений в оттаивающих (промерзающих) грунтовых массивах. Физические предпосылки этого направления исследований также связаны с электрокинетическими явлениями.

Применение методов электрометрии при инженерно-геологическом обследовании грунтовых плотин и их оснований существенно

повышает надёжность и оперативность натуральных исследований в целом, дополнительно позволяя минимизировать затраты на выполнение дорогостоящих горно-буровых работ.

При интерпретации результатов электрометрии в первую очередь необходимо выявить наличие и охарактеризовать пространственное положение таких аномалий геоэлектрического разреза, которые не мотивированы особенностями конструкции плотины или предусмотренными проектом вариациями состава и температурно-влажностного режима грунтов. Присутствие таких аномалий является объективным признаком скрытых дефектов сооружения и должно учитываться при оценке его инженерно-геологического состояния. Надёжные признаки развития неблагоприятных процессов в основании сооружения и во вмещающем геологическом массиве можно получить при сопоставлении материалов изысканий прошлых лет и результатов ранее выполненных инженерно-геологических прогнозов с данными оперативных электрометрических наблюдений, характеризующими фактическое состояние и свойства грунтов.

Надёжность выявления геоэлектрических аномалий и классификации их источников по степени возможного влияния на безопасную эксплуатацию грунтовых плотин можно повысить за счёт методов физического и математического моделирования. В смежных отраслях прикладной геофизики они уже разработаны для двух- и трёхмерных макетов геологической среды. Актуальной является задача адаптации таких моделей применительно к особенностям геометрии плотин и специфике задач, решаемых в рамках инженерно-геологического мониторинга гидротехнических сооружений. Такие проработки ведутся специалистами ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» в рамках проблемы совершенствования неразрушающих методов контроля гидротехнических сооружений.

Несмотря на очевидную необходимость внедрения новой полевой аппаратуры и автоматизированных методов интерпретации данных электрометрии, следует подчеркнуть, что и современный технический арсенал этих методов позволяет эффективно решать традиционные задачи инженерно-геологического мониторинга грунтовых плотин и оснований. Об этом, в частности, свидетельствует опыт работ ОАО ПИИ «Ленгидропроект» и ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева».

На участке Аркагалинского гидроузла методы электрометрии применялись в 1968-69 (рис. 1), 1976 и 1992 гг. для изучения характера и динамики техногенных изменений состояния многолетнемёрзлой толщи в верхнем и нижнем бьефах гидротехнических сооружений.

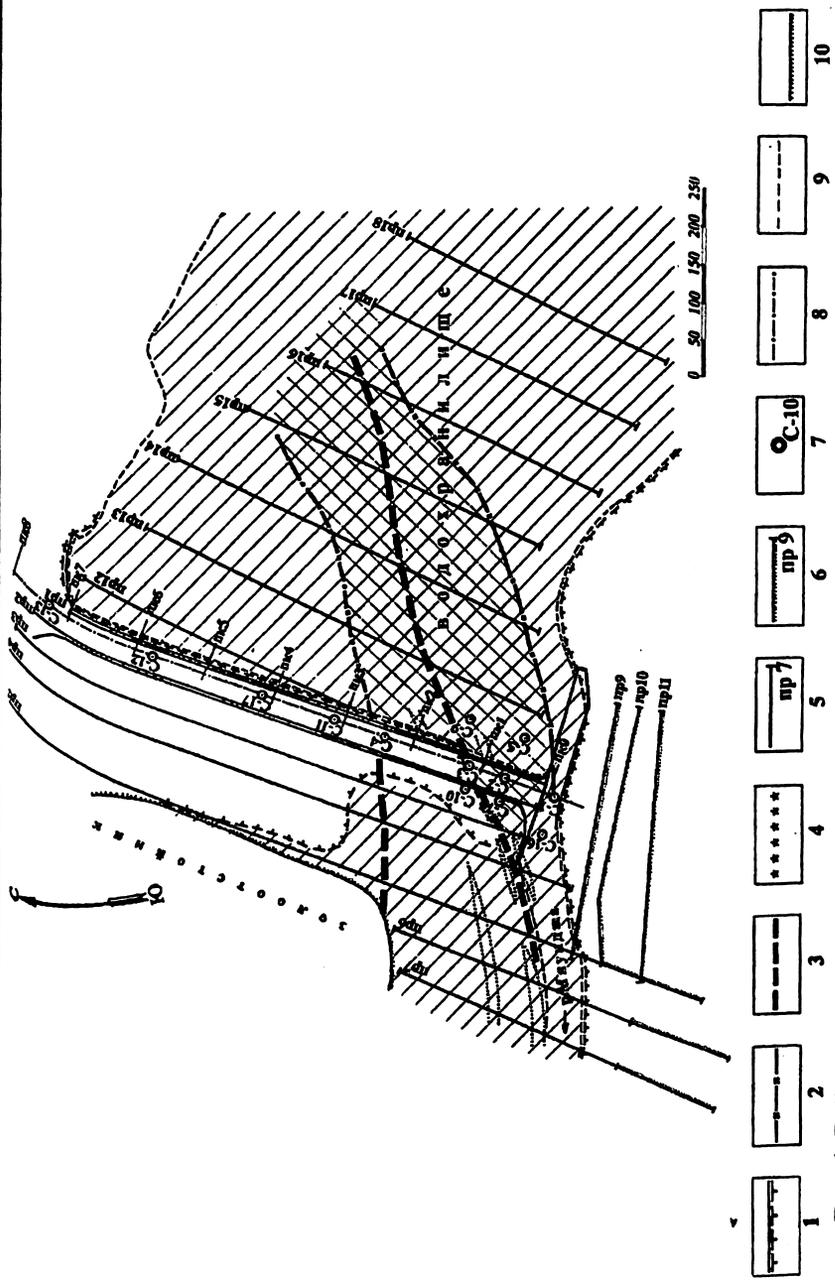


Рис. 1. Районирование участка Аркагалинского гидроузла по результатам электрометрии 1968-69 гг.
 1- граница надмерзлотного талика; 2- граница области возможного формирования сквозных таликов; 3- ось зоны повышенной электропроводности; 4- контур аномалии ЕП; 5- геофизический профиль 1968-69 гг.; 6- дополнительный профиль 1976 г.; 7- скважина инженерно-геологической разведки 1968-69 гг.; 8- ось плотины; 9- урез водоема; 10- контур дамбы золотоотстойника.

Результаты электрометрии показали, что фактические темпы изменений геотермического режима на изученном участке существенно выше, чем это ранее предполагалось на основании расчётов, выполненных применительно к упрощённой инженерно-геологической модели основания. Методами электрометрии выявлено тектоническое нарушение, простирающееся из верхнего в нижний бьеф гидроузла и пересекающее створ плотины вблизи левобережного примыкания. Вдоль указанного нарушения по результатам электрометрии на участке водохранилища выделена область, характеризующаяся ускоренными темпами деградации многолетней мерзлоты, где уже по состоянию на 1968-69 гг. можно было предположить появление сквозных таликов. В нижнем бьефе вдоль ослабленных зон массива также наблюдались аномалии в строении массива многолетнемёрзлых пород. Результаты бурения глубоких скважин подтвердили правильность указанного заключения. В пределах выделенной по данным электрометрии зоны аномалий скважины либо вообще не встретили мёрзлых пород на глубинах до 120 — 130 м, либо зафиксировали только маломощные «острова» мерзлоты на больших глубинах при температурах 0 — минус 0,5°С. На остальных участках темпы развития техногенных таликов соответствовали прогнозным параметрам.

По результатам электрометрии можно было объяснить особенности поведения левобережной части плотины, обусловленные деформациями оттаивающего основания в связи с тем, что существующими средствами сезонного охлаждения грунтов здесь длительное время не удавалось добиться стабилизации состояния мерзлотной завесы.

Повторные электрометрические наблюдения 1976 и 1992 гг. позволили качественно и количественно оценить дальнейшую динамику состояния криогенной толщи в нижнем бьефе сооружения. Эти данные были использованы при разработке проекта противофильтрационных мероприятий и вариантов новой компоновки сооружений.

На участке Кривопорожской ГЭС (рис. 2) комплекс методов электро- и термометрии был успешно применён для изучения причин и путей сосредоточенной фильтрации в теле грунтовой плотины.

Вопрос о необходимости таких исследований был поставлен в связи с появлением признаков опасной для эксплуатации гидроузла ситуации. На сопряжении левобережной и русловой частей плотины летом 1996 г. произошло пиковое увеличение интенсивности расходов фильтрации, наблюдался активный суффозионный вынос мелкозёма из дренажных сооружений. Существующие на этом участке

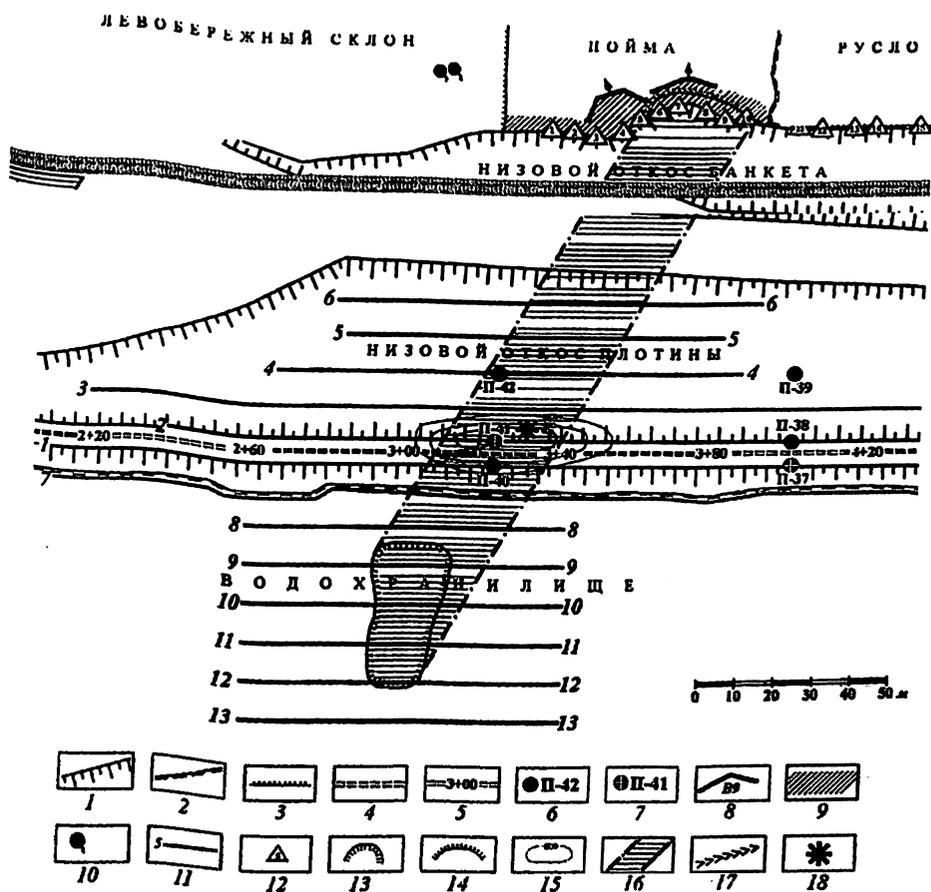


Рис. 2. Оконтуривание области сосредоточенной фильтрации в теле грунтовой плотины по результатам электро- и термометрии. (Кривопорожская ГЭС, 1996 г.): 1- контур откоса плотины; 2- урез; 3- подошва склона долины; 4- ось плотины; 5- пикет; 6- скважина КИА, её номер (оборудованы в 1994-95 гг.); 7- то же, в нерабочем состоянии в 1996 г.; 8- контрольный водослив; 9- ореол фильтрационных вод у подошвы дренажного банкета (сформировался при наполнении водохранилища, фильтрация резко активизировалась летом 1996 г.); 10- источник подземных вод; 11- геофизический профиль, его номер; 12- пункт электро- и термометрии фильтрационных вод, его номер; 13- контур локальной отрицательной аномалии потенциалов ЕП на подводной части верхового откоса плотины; 14- область выхода фильтрационных вод с аномальными значениями УЭС и температуры; 15- область развития грунтов плотины с аномально низкими УЭС (значения в Ом.м); 16- область транзита сосредоточенной фильтрации в теле плотины, ооконтуренная при корреляции геофизических аномалий; 17- зона регулярного появления трещин на гребне плотины; 18- воронка провала, сформировавшаяся на низовом откосе плотины в октябре 1996 г.

скважины КИА в указанный период находились в неудовлетворительном техническом состоянии, поэтому данные режимных наблюдений не позволяли правильно определить причины сложившейся экстремальной ситуации. Для оперативного решения вопросов, необходимых для разработки проекта предупредительных мероприятий, было принято решение использовать дистанционные геофизические методы.

Результаты выполненных исследований показали, что причиной пикового увеличения фильтрации являются не дефекты основания, а особенности состояния самой плотины. Была зафиксирована большая неоднородность грунтов тела плотины по величинам УЭС, а также резкие изменения скорости фильтрации в разных зонах сооружения. На подводной части низового откоса выявлена локальная отрицательная аномалия потенциалов ЕП. Данные электро- и термометрии позволили уточнить область разгрузки потока сосредоточенной фильтрации в нижнем бьефе, которая резко выделялась на фоне других фильтрационных проявлений по значениям УЭС и температуре воды. Область корреляции указанных выше геофизических аномалий надёжно отобразила положение потока сосредоточенной фильтрации в теле сооружения. Методом электролитической индикации воды в водохранилище была оценена действительная скорость сосредоточенной фильтрации, которая по состоянию на сентябрь 1996 г. составила около 10 м/сут. По результатам электрометрии было рекомендовано положение новой сети скважин КИА, результаты последующего бурения которых подтвердили данные дистанционных методов.

На участке Анадырского гидроузла (Рис.3) в 1977 – 84 гг. методы электрометрии в варианте долговременных режимных наблюдений были успешно применены для изучения динамики состояния техногенных грунтов в процессе возведения плотины 2-й очереди. Они также позволили оценить техногенные изменения состояния толщи криогенных пород в верхнем и нижнем бьефах существующей плотины 1-й очереди. Данные электрометрии имели большое значение для уточнения технологии строительных работ и для оценки готовности плотины к постановке под напор. Результаты исследований свидетельствуют о больших перспективах методов геоэлектрического контроля состояния техногенных грунтов при строительстве плотин в криолитозоне, особенно на этапах, когда ещё не может быть развёрнута полноценная система наблюдательных скважин КИА.

В последующие годы на этом же объекте методы электрометрии применялись для выявления аномалий криогенного состояния грун-

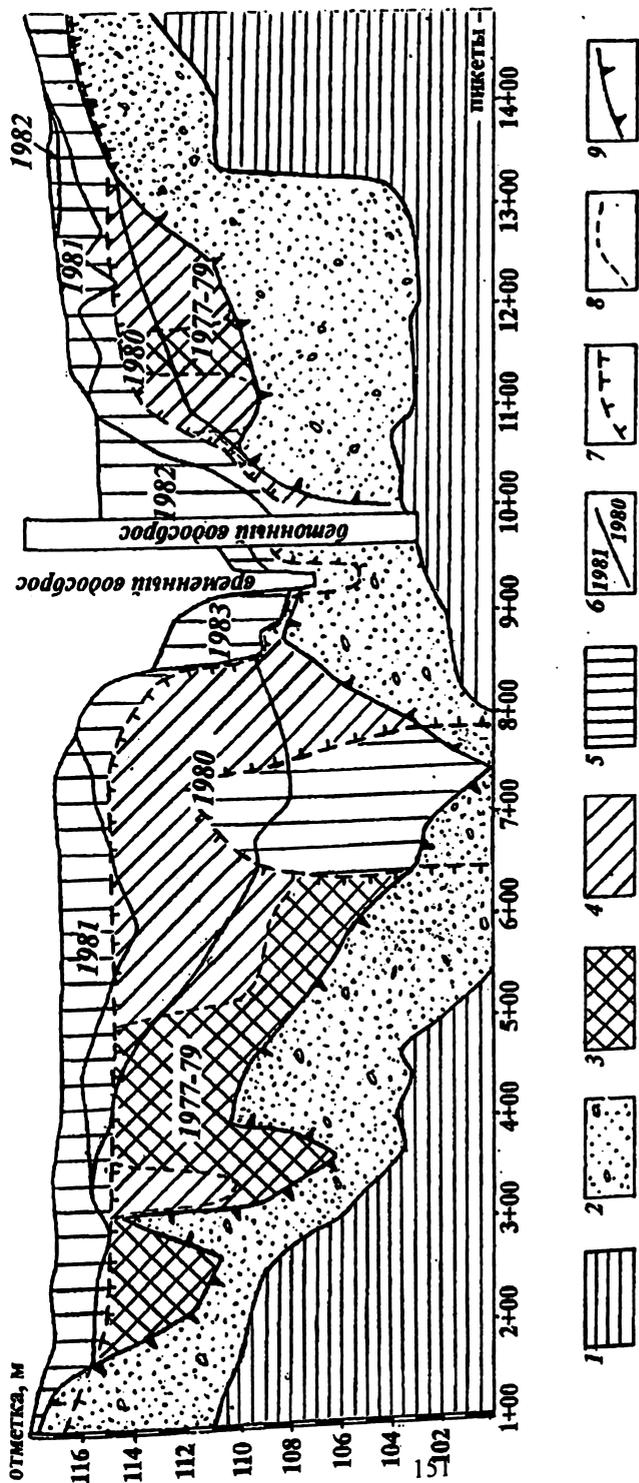


Рис.3. Результаты геоэлектрического контроля плотины Анадырского гидроузла (сентябрь-октябрь 1983 г.).
 1 - морские отложения; 2 - делювиально-солифлюкционные и аллювиальные отложения; 3 - насыпной грунт в твёрдомёрзлом состоянии (УЭС свыше 1500 Ом.м); 4 - насыпной грунт в пластичномёрзлом состоянии (УЭС от 200 до 1500 Ом.м); 5 - насыпной грунт в талом, сезонноталом или переохлаждённом состоянии (УЭС меньше 200 Ом.м); 6 - граница между технологическими слоями насыпи разных лет; 7 - поверхность мерзлоты по данным ВЭЗ; 8 - граница между пластично- и твёрдомёрзлыми насыпными грунтами; 9 - поверхность основания плотины.

тов, путей и скорости сезонной фильтрации на участке сооружения, где из-за большой интенсивности техногенных нагрузок, особенностей криогенного поведения материала плотины и недостаточной мощности сезоннодействующих замораживающих установок не удалось обеспечить проектный температурный режим искусственно охлаждаемого ядра плотины.

Выводы:

1. Дистанционные методы электрометрии позволяют успешно решать многие вопросы инженерно-геологического мониторинга грунтовых плотин, их оснований и вмещающей геологической среды. Они существенно повышают возможности натурального обследования плотин и прилегающих территорий за счёт большой мобильности, высокой производительности и относительно низкой стоимости полевых исследований.

2. На объектах, оборудованных стационарными системами КИА, электрометрические наблюдения могут использоваться в качестве дополнительного оперативного метода для выявления скрытых дефектов и локальных очагов развития неблагоприятных криогенных, фильтрационных и т.п. процессов. Они также должны использоваться при изучении инженерно-геологических условий в верхнем и нижнем бьефах сооружения.

3. На объектах, не обеспеченных стационарными системами КИА, методы электрометрии могут применяться автономно в качестве основного способа разовых или режимных натуральных наблюдений.

РАЗРАБОТКА КАЛИБРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ СКЛОНА ЗАГОРСКОЙ ГАЭС)

*Белостоцкий А.М., доктор техн. наук (АО НИИЭС), Белый М.В.,
Рассказов Л.Н., доктора техн. наук (МГСУ),
Желанкин В.Г., кандидат. техн. наук (АО НИИЭС)*

Оценка реального состояния эксплуатируемых гидротехнических сооружений требует тесного взаимодействия математического моделирования и натурных наблюдений: размещение, состав и характеристики контрольно-измерительной аппаратуры определяются предварительными (проектными) расчетами, а математические модели «калибруются» и совершенствуются по натурным данным. Разработанные численные модели должны сопровождать ответственные объекты гидроэнергетики на всех этапах их зарождения (проектирования и строительства) и жизни (эксплуатации, ремонта и реконструкции), обеспечивая адекватный и полный анализ и прогноз состояния в составе компьютерных информационно-диагностических систем мониторинга [1].

Так, актуальную задачу обеспечения оперативной диагностики и прогноза состояния основных сооружений Загорской ГАЭС предлагается решать на основе использования пространственных математических моделей их гидрологического и фильтрационного (дамбы, склоны, основания) и напряженно-деформированного состояний (дамбы, склоны, водоприемник и водоводы), согласующихся с данными натурных наблюдений и восстанавливающих полное пространственно-временное поле упомянутых параметров. Остановимся на «ключевой» проблеме обеспечения безопасности ЗГАЭС — устойчивости оползневых склонов, - имеющей также важное значение для отработки методологии построения и калибровки математических моделей НДС грунтовых сооружений.

1. Определение расчетных характеристик грунтов массива в рамках энергетической модели. Распределение пород в границах расчетной области принято на основе трехмерной модели геологии склона, построенной в АО «Институт Гидропроект» под руководством канд. техн. наук Юдкевича А.И. Для определения характеристик грунтов были проанализированы материалы инженерно-геологических изысканий, натурных наблюдений, научно-технических отчетов, публикаций и диссертационных работ, касающихся воп-

росов оценки состояния склонов сооружений ЗГАЭС. В результате были отобраны подходящие для моделирования материалы трехосных испытаний основных грунтов, слагающих склон и техногенные образования в расчетной области. Для оценки НДС использовались также аналоговые характеристики грунтов энергетической модели, принятые для характерных условий и данных видов грунтов по обобщению опытных данных при реализации данной модели. В результате анализа экспериментальных и аналоговых данных были выделены два уровня расчетных характеристик грунтов, слагающих склон, которые определили возможный диапазон изменения данных характеристик, необходимый для дальнейшей калибровки модели. Самые ослабленные характеристики используются далее в расчетах под названием «*модель №1*» и приведены в «числителе» таблицы 1, а характеристики, соответствующие верхнему пределу прочности данных грунтов, названы «*моделью №2*» («знаменатель» таблицы 1).

Все рассмотренные опыты проводились по методике условной стабилизации. Как на этапе всестороннего сжатия, так и на участке девиаторного нагружения следующая ступень нагрузки прикладывалась к образцу лишь после условной стабилизации деформаций, возникающих в результате приложения предыдущей ступени нагружения. В качестве критерия стабилизации принималась скорость осевой деформации $e_{\dot{}}$. Все опыты были оцифрованы с высокой степенью подробности и обработаны в соответствии с имеющейся методикой определения характеристик энергетической модели грунта.

Расчетные характеристики моренного суглинка

Современный рельеф, подстилающий техногенные образования — дамбу верхнего бассейна, контрбанкет, выемки и насыпи, сформирован суглинистыми ледниковыми образованиями московской морены, для которой принято условное название моренный суглинок. Выделяются два основных вида данного грунта:

(6)¹ glQ2ms(VI) — зона неразуплотненной морены в коренном и дислоцированном залегании с удельным весом скелета грунта $\gamma_{ск} = 2.04 \text{ тс/м}^3$

(5) glQ2ms(V) — зона разуплотненной морены, $\gamma_{ск} = 1.97 \text{ тс/м}^3$. Дислоцируется в основном в зоне под понуром и подпорной стенкой ПЗ с максимальной толщиной слоя 26 м. Толщина слоя уменьшается и под низовым откосом дамбы не превышает 10 м.

¹ Нумерация грунтам в круглых скобках () присваивается в соответствии с табл. 1.

В рамках энергетической реологической модели связь между объёмными деформациями e и средним напряжением σ описывается степенной зависимостью с экспоненциальной «добавкой» на ползучесть:

$$d\sigma = \frac{E_0 \sigma^{1-n}}{n(1 - e^{-\beta(t-\tau)^{1-\zeta}})^n} de \quad (1)$$

Для определения величины начального модуля объёмной деформации E_0 и показателя степени n использовался график зависимости объёмная деформация — среднее напряжение. В результате обработки экспериментальных данных был получен диапазон изменения характеристик моренного материала коренного залегания (6) в пределах от максимального $E_0^{max} = 600 \text{ тс/м}^2$ до минимального $E_0^{min} = 300 \text{ тс/м}^2$, для разуплотненной зоны морены (5) $E_0^{max} = 450 \text{ тс/м}^2$, $E_0^{min} = 200 \text{ тс/м}^2$ (таблица 1). Данный разброс в результатах объясняется тем, что исследования грунтов проводились разными организациями и авторами в разные периоды времени, но при этом величины характеристик не выходят за пределы, характерные для моренных грунтов. Уточнение характеристик грунтов для расчетной модели в дальнейшем должно производиться в результате сопоставления с натурными данными.

Для моренного материала (6) были получены (при серии экспериментов) следующие значения показателя степени: $n_{max} = 0,60$ и $n_{min} = 0,55$, для разуплотненной морены (5) — более значительный разброс $n = 0,48 - 0,60$.

Для определения значения U_0 — энергии предварительного уплотнения, аналогичной сцеплению, рассматривается разность энергии формоизменения и объёмного деформирования в точке, когда грунт достигает предельного состояния:

$$U_0 = \int_L S_{ij} \cdot d\varepsilon_{ij} - \int_L \sigma \cdot de \quad (2)$$

Энергия начальной прочности грунта U_0 вместе с энергией объёмного сжатия $\int \sigma \cdot de$ (σ — шаровая компонента тензора напряжений, e — объёмная деформация), накопленной или расходуемой на всем пути нагружения L , представляют собой запас прочности материала

ла, который при нагружении расходуется на реализацию девиаторных компонент деформаций, доводящих материал до разрушения.

Здесь $\int S_{ij} d\varepsilon_{ij}$ — энергия деформации формоизменения, снижающая прочность грунта в процессе нагружения; S_{ij}, ε_{ij} — девиаторные компоненты тензоров напряжений и деформаций.

После соответствующих расчетов получены значения для грунта (6) — $U_0 = 1,8 - 3,3 \text{ тс/м}^2$, для грунта (5) — $U_0 = 1,4 - 1,8 \text{ тс/м}^2$.

Соотношение девиаторных составляющих тензора напряжений и деформаций в энергетической модели грунта записывается в виде:

$$dS_{ij} = 2\sigma^{1-n} \left(\frac{E_0 f(v) e^{B(\bar{K}-1)}}{n} + G_0 \bar{K} (1 - e^{B(\bar{K}-1)(1-\tau)})^n \right) d\varepsilon_{ij} . \quad (3)$$

где G_0 — начальный модуль сдвига; B — показатель упругих связей; $f(v)$ — функция коэффициента Пуассона; \bar{K} — коэффициент относительной прочности (изменяется в пределах от 0 до 1).

В результате обработки экспериментальных данных были получены значения начального модуля сдвига G_0 , который определялся в точках, соответствующих перелому графика зависимости $G=f(\bar{K})$, а также параметра B , характеризующего упругие связи при развитии девиаторного нагружения. Максимальные и минимальные значения начальных модулей сдвига и других характеристик энергетической модели грунта приведены в таблице 1. Константы β , ξ и η , характеризующие ползучие свойства грунтов, определить не представилось возможным из-за отсутствия необходимых специальных реологических экспериментов, поэтому они были приняты по грунтам-аналогам со сходными физико-механическими характеристиками, для которых были проведены эксперименты по полной программе. В качестве аналога для назначения ползучести моренного суглинка был принят моренный грунт из карьеров плотины Туполанг. В соответствии с ранее проведенными исследованиями показатели ползучести были приняты следующими: $\beta=1,12$, $\xi=0,96$, $\eta=-0,201$.

Расчетные характеристики «зеленых глин»

Формирование основной поверхности, по которой происходит движение оползневых массивов и склонов основных сооружений ЗГАЭС, приурочено к зеленоцветным породам сантонского яруса, которые представлены набором глинистых грунтов и опок с условным названием «зеленые глины». Мощность их сильно изменчива

Таблица 1

Характеристики энергетической модели грунтов склона ЗГАЭС

Характеристики грунта	Наименование грунтов							
	Глины парамоновские (1)	Пески сенюманские (2)	Глины зеленоцветные наруш (3)	Глины зеленоцветные (перепирающие) (4)	Морена (разуплотненная) (5)	Морена (коренная) (6)	Техногенные насыпи (подсыпка, упоряд призма, банкет) (7)	Моренный султенок дамбы (8)
Уд. Вес скелета грунта, ($\gamma_{ск}$)	1,47	1,57	1,29	1,50	1,97	2,04	1,80	2,01
Уд. Вес влажного грунта, ($\gamma_{об}$)	1,90	1,62	1,80	1,95	2,23	2,27	2,00	2,23
Уд. Вес насыщ. грунта, ($\gamma_{нас}$)	1,93	1,98	1,82	1,95	2,24	2,28	2,02	2,26
Уд. Вес взвеш. грунта, ($\gamma_{взв}$)	0,93	0,98	0,82	0,95	1,24	1,28	1,02	1,26
Модуль объемной деформации начальный, E_0	1220	1060 1300	350	480	200 450	300 600	190 250	180 300
Степень, n	1,0	0,63 0,65	0,68	0,68	0,52 0,60	0,60 0,55	0,64	0,55
Предельные деформации, Γ_0	-	0,02	-	-	-	-	-	-
Модуль дилатансии, M	0	10	0	0	0	0	0	0
Прочность частиц, [σ]	-	200	-	-	-	-	-	-
Модуль сдвига начальный, G_0	788	120 250	25 35	15 20	35 80	110 200	116,6 150	103 180
Энергия начальной Уплотнения U_0	3,0	3,0 4,0	0,9 5,0	1,0 8,0	1,4 1,8	1,8 3,3	2,5 3,0	4,0 4,5
Показатель упругих связей, B	30	20	20	30	30	20	20	30
Показатели свойств ползучести: $-\beta$	1,314	1,45	0,956	0,956	1,16	1,078	1,16	1,078
--- // ---, ξ	0,942	0,946	0,945	0,945	0,960	0,962	0,960	0,962
--- // ---, η	-0,252	-0,200	-0,171	-0,171	-0,203	-0,210	-0,201	0,209
Функция коэффициента Пуассона, ν	1,5	1,5	0,8	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5
Модуль объемной деформации при разгрузке, E_{P0}	12200	10600 13000	3500	4800	2000 4500	5000 6000	1900 2500	1800 3000
Модуль сдвига при разгрузке, G_{P0}	7880	1200 2500	250 350	150 200	500 800	1200 2000	1166 1500	1030 1800

в числителе - характеристики, соответствующие минимальным прочностным и максимальным деформативным свойствам грунтов (для разменных величин — тс, м);
в знаменателе — максимальным прочностным и минимальным деформативным.

(от 1 – 2 до 10 – 15 м), положение кровли имеет сложный пространственный характер залегания. Подход к назначению характеристик этих грунтов такой же, как и к назначению характеристик моренного суглинка. «Зеленые глины» исследовались при различных значениях плотности скелета грунта: от 1,33 до 1,27 тс/м³.

По условиям залегания и их состояния в пределах склона целесообразно выделить два основных вида данного грунта, что связано с наличием древних и современных оползневых смещений:

(3) K2St(2) — зона нарушенного залегания зеленоцветных пород;

(4) dpQ(2-4)K2St — зона оползневого перетирания зеленоцветных пород.

С использованием графиков зависимости объёмных деформаций от среднего напряжения были определены значения начального модуля объёмного деформирования E_0 и показателя степени n : $E_0 = 350$ тс/м² для зеленоцветных пород нарушенного залегания и $E_0 = 480$ тс/м² для пород оползневого перетирания, $n = 0,68$ для обеих пород (в связи с ограниченным числом экспериментальных данных).

С использованием графика зависимости интенсивности угловых деформаций от интенсивности касательных напряжений определена величина энергии предварительного уплотнения U_0 . Получено, что U_0 изменяется в пределах от 0,9 до 1,2 т/м² в стабилометрических экспериментах, проводившихся в ограниченный промежуток времени, но составляющая предельного сопротивления сдвигу на главных и октаэдрических площадках при длительных экспериментах в приборах кольцевого сдвига позволяет рассматривать возможность увеличения энергии предварительного уплотнения до 5 – 8 тс/м². После соответствующих расчётов были получены очень невысокие значения начальных модулей сдвига с небольшим разбросом $G_0 = 25 – 35$ тс/м² для породы (4) при параметре $B = 20,0$ и $G_0 = 15 – 20$ тс/м² для породы (3) при параметре $B = 30,0$.

Характеристики ползучести в виде коэффициентов β , ξ , η были приняты такими же, как для пластичных глин из карьеров плотины Лимон (таблица 1). При этом следует отметить, что реологические свойства зеленоцветных пород необходимо уточнять на основе сопоставления расчетных данных о движениях склона с натурными наблюдениями, т.к. все испытания этих пород проводились в очень ограниченные промежутки времени по сравнению с реальным формированием процессов консолидации и нагружения данных грунтов.

Расчетные характеристики сеноманских песков.

Зеленоцветные породы подстилаются сеноманскими песками мощностью 5—10 м. Пески имеют определенную разнородность — мелкие, средние, местами глинистые, но могут быть объединены по своим характеристикам в единый материал со стратиграфическим индексом (2) — K2sm.

Пески имеют ярко выраженный эффект дилатансии - изменения объема при деформациях формоизменения. В энергетической модели грунта этот эффект описывается следующей зависимостью:

$$de = \text{sign} (\Gamma_0 - \Gamma) \frac{Md\Gamma}{\sigma} \quad (4)$$

где de — приращение объемных деформаций за счет дилатансии;
 M — эмпирический коэффициент — «модуль дилатансии».

В качестве знака дилатансии в (4) введена разность текущего (Γ) и критического (Γ_0) значений второго инварианта девиатора деформаций. Это обусловлено тем, что первоначальная дилатансия является деформацией сжатия. Когда же интенсивность деформаций (второй инвариант девиатора деформаций) достигает некоторого критического значения Γ_0 , определенного из эксперимента, знак дилатансии меняется, и начинаются деформации расширения. Величина модуля дилатансии для данных песков определена в пределах 7,0 — 10,0. Критическая величина второго инварианта девиатора деформаций составила $\Gamma_0 = 0,02$. Все остальные характеристики определены по вышеприведенной методике и сведены в таблицу 1.

Расчетные характеристики «парамоновских» глин

Сеноманские пески подстилаются верхнеальбскими глинистыми породами (1) K1al3, мощностью до 35 м, основная часть которых представлена так называемыми «парамоновскими» черными глинами монтмориллонитового состава. В коренном залегании эти глины имеют достаточно высокие физико-механические характеристики. Ввиду отсутствия достоверных стабилметрических испытаний данных грунтов, параметры энергетической модели для них были приняты по близким аналогам — туго-пластичным глинам из карьеров плотины Лимон (Перу).

«Парамоновские» глины залегают на мощном слое (50 м) слабодеформируемых альб-аптских песчаных отложений, которые приняты как граница расчетной области с жестким закреплением.

2. Расчетные исследования по программному конечноэлементному комплексу СТАДИО. В исследованиях НДС склона ЗГАЭС использовался вновь разработанный алгоритм нелинейного трехмерного

расчета на базе «энергетической» реологической модели грунта, реализованный в универсальном верифицированном программном комплексе СТАДИО-99 (Windows-версия для ПЭВМ) и апробированный на тестовых и практических задачах

Алгоритм нелинейного расчета сочетает:

пошаговое (инкрементальное) нагружение в пределах каждого этапа возведения (нагружения) объекта, позволяющее адекватно проследить процесс возможной сложной перестройки тензоров деформаций и напряжений;

«внешний» итерационный процесс для каждого инкремента (вариант метода переменных параметров упругости), на каждом шаге которого формируется и решается квазилинейная система уравнений равновесия с перестраиваемой матрицей жесткости; коэффициенты матрицы жесткости (матрицы упругости) зависят от текущих компонент шарового и девиаторного тензоров напряжений и соответствуют состояниям нагружения или разгрузки реологической модели;

«внутренний» итерационный процесс для каждой точки определения напряжений в трехмерных изопараметрических КЭ до достижения точного выполнения уравнения состояния реологического материала.

Для решения на каждом шаге «внешних» итераций системы линейных уравнений равновесия МКЭ «супер»больших порядков (200000-1000000), характерных для трехмерной модели склона, реализован эффективный вариант метода неполной факторизации — предобусловленная схема сопряженных градиентов (PCG).

Многоэтапность обеспечивается не только хранением накопленных компонент напряжений и деформаций, но и организацией ускоренного алгоритма вычисления приращений перемещений от нагружения данного этапа во все интересующие моменты времени, приуроченные к последующим расчетным этапам. По завершении полного цикла расчетов формируется база данных и результатов, позволяющая повторно выполнить расчет по любому этапу (или группе этапов) с видоизмененными характеристиками материалов и (или) нагрузок. Тем самым созданы программно-алгоритмические предпосылки для построения и калибровки комплексных трехмерных математических моделей НДС склона.

Апробация и оптимизация алгоритма и программного комплекса. Выполнена представительная серия тестовых задач (прямоугольный блок грунтового массива с характеристиками материалов склона под весовой и поверхностной нагрузками; цилиндрический образец

в условиях, соответствующих выполненным трехосным испытаниям; трехмерная система «жесткий штамп - грунтовое основание» при поэтапном приложении к штампу вертикальной и сдвиговой нагрузок и другие), численные решения которых качественно и количественно соответствуют физическим представлениям, данным по альтернативной численной методике (метод локальных вариаций, п. 3) и результатам экспериментов. Установлен диапазон параметров численных схем, обеспечивающий устойчивую и быструю сходимость решения.

Расчетные модели НДС склона. Базовая параметризованная конечноэлементная модель расчетного «оползневого» поперечника 9 - 9 (IX, рис. на цветной вкладке), автоматизированно сгенерированная препроцессорными средствами комплекса СТАДИО-99 с требуемыми сгущениями сетки в зонах ожидаемых значимых градиентов перемещений и напряжений (рис. на цветной вкладке), содержит 30 зон (материалов), 5414 объемных изопараметрических КЭ первого порядка точности (в форме треугольных призм) и 5538 узлов с двумя значимыми степенями свободы (горизонтальные и вертикальные перемещения) в каждом. На левой ($x = -250$ м) и правой ($x = 830$ м) граничной плоскостях, достаточно удаленных от зоны возможного развития основных оползневых явлений, ставятся условия отсутствия горизонтальных перемещений, на нижней ($y = 100$ м) — отсутствия всех перемещений. Реальная задача о плоском деформированном состоянии намеренно решалась как вырожденная трехмерная с целью апробации разработанного алгоритма на задаче значительной вычислительной размерности.

Каждый из десяти расчетных этапов моделируется соответствующим «наполнением» физико-механических свойств тридцати зон: либо реальными характеристиками «парамоновской» и зеленоцветной глин, сеноманских песков, нарушенной и ненарушенной морены, техногенных материалов (грунтов и бетона подпорных стенок) по данным табл. 1, либо фиктивными «нулевыми» для реально отсутствующих зон (техногенные зоны — для первых этапов, материалы в котловане — при его выборке). Такой подход позволяет сформировать топологически и геометрически единую базовую конечноэлементную модель и не перестраивать ее в процессе многоэтапного расчета.

Учет веса грунта и фильтрационных нагрузок выполнялся по следующей схеме:

на всех этапах до заполнения верхнего бассейна плотность сеноманских песков и морены принимается для взвешенного состо-

яния, плотность зеленоцветных глин и парамоновских глин — для водонасыщенного состояния и плотность техногенных материалов — для естественной влажности. При этом на кровлю зеленоцветных глин (на соответствующие грани КЭ) прикладывается неравномерная вертикальная поверхностная нагрузка, пропорциональная мощности морены, а на кровлю парамоновских глин — пропорциональную мощность сеноманских песков. Кроме того, по всей расчетной области задаются горизонтальные объемные фильтрационные нагрузки, пропорциональные градиентам поля фильтрации; для эксплуатационных этапов (с заполненным ВБ) применяется аналогичная схема приложения нагрузок с точностью до учета положения кривой депрессии, которая является границей ряда зон (рисунки на цветной вкладке).

Приведенные нагрузки для этапа 5 (выемка котлована под упорную призму) программно формировались как узловые силы по контуру котлована от накопленных напряжений в приграничных конечных элементах.

Результаты расчетных исследований.

Этап 1 (естественное состояние склона). Отчетливо прослеживается существенно нелинейный неконсервативный характер полученного решения - качественная перестройка горизонтальных перемещений и существенное количественное нарастание вертикальных перемещений для итогового состояния по сравнению с начальным уровнем, соответствующим квазиупругому состоянию для малых нагрузок. Поля итоговых расчетных горизонтальных и вертикальных перемещений указывают на формирование протяженного массива (около 300 м, начиная от подпорной стенки №2) со значимыми горизонтальными перемещениями (до 1,4 м в зоне сеноманских песков и зеленоцветных глин, до 1,0 м на поверхности для ослабленной модели №1), вызывающее дополнительную осадку грунтов в верхней части склона (под подпорной стенкой — до 4 м) и препятствующее осадкам в зоне упорной призмы и правее (явление выпора).

Расчетные максимальные горизонтальные перемещения для модели №2 более чем в 2 раза меньше аналогов для ослабленной модели №1, а смещения на поверхности — более чем в 3 раза (не превосходят 1,1 м). Соответствующие результаты для осадок отличаются не столь значительно (примерно в 1,5 раза). Расчетные приращения горизонтальных и вертикальных перемещений за 10 и 20 лет (за счет ползучести) свидетельствуют об их значительном временном затухании. Этим существенно более благополучным кинематическим параметрам соответствует и большее значение

определяющего коэффициента запаса K_z при схожей картине распределения напряжений.

Этап 2 (отсыпка техногенного слоя). Характеризуется весьма незначительным нарастанием расчетных перемещений и напряжений.

Этап 3 (возведение подпорной стенки № 1 понура и дамбы верхнего бассейна). Максимальные смещения достигают 1,1 м в зоне сеноманских песков под «правым» краем дамбы, а на поверхности естественного склона не превосходят 0,5 м, расчетные осадки — до 1,5 м в зоне дамбы. Приращения горизонтальных и вертикальных перемещений за 10 и 20 лет свидетельствуют об их значительном временном затухании и качественно согласуются с имеющимися натурными данными (осадки — до 0,28 м, смещения на поверхности — до 0,22 м за 10 лет).

Этап 4 (возведение подпорной стенки № 2). Качественно картина формирования расчетного НДС повторяет предыдущий этап 3 при меньших значениях определяющих параметров.

Этап 5 (выемка котлована под упорную призму второй очереди). Выемка котлована под упорную призму вызывает знакопеременное распределение горизонтальных перемещений (сближение берегов котлована) и значимые явления выпора в зоне выемки. При этом сближение берегов достигает 0,8 м, а подъем дна котлована — 1,1 м.

Этап 6. Засыпка упорной призмы частично компенсирует поле НДС, возникшее в результате выемки.

Этап 7. Отсыпка контрбанкета порождает знакопеременное поле горизонтальных перемещений (до 0,5 м в зоне сеноманских песков, до 0,1 м на поверхности) и значимые осадки в зоне контрбанкета (до 1,05 м).

Этап 8. Подъем уровня воды ВБ до отм. 257,5 м характеризуется значимыми осадками в зоне ВБ (до 1,1 м) и смещениями в зоне сеноманских песков под подпорной стенкой №2 (до 0,6 м). Смещения на поверхности не превосходят 0,2 м. Приращения горизонтальных и вертикальных перемещений за 5 и 10 лет свидетельствуют об их временном затухании и качественно согласуются с имеющимися натурными данными (осадки — до 0,05 м, смещения на поверхности — до 0,01 м за 5 лет).

Этап 9. Подъем уровня воды ВБ до отм. 266,5 м незначительно (не более 15% по экстремумам) повышает расчетные параметры этапа 8.

Этап 10 (эксплуатационные этапы). Представляет собой суперпозицию «ползучей» части решений от значимых этапов формирования склона и имеет затухающий характер (см. комментарии по ранним этапам).

Результаты расчетов по данной модели качественно согласуются с данными натурных наблюдений, подтверждают работоспособность разработанного программно-алгоритмического обеспечения и позволят, на следующей стадии расчетных исследований, обоснованно проводить калибровку трехмерной модели склона.

Оптимизация двумерной и подготовка трехмерной модели НДС склона. Многопараметрические вычислительные эксперименты позволили установить диапазон рациональных параметров шагово-итерационного алгоритма для модели НДС склона. Так, при увеличении числа шагов нагружения (более 20) решение практически не изменяется, а при малом их числе (менее 4 для этапов со значительной перестройкой поля напряжений и деформаций) вообще не удается получить сходящееся нелинейное решение. Увеличение относительной точности определения перемещений во внешнем итерационном цикле на порядок (с 0,001 до 0,0001) приводит к примерно двукратному увеличению числа итераций, но уже практически не изменяет результат. В соответствии с теоретическими представлениями и в подтверждение надежности разработанного программно-алгоритмического обеспечения идентичные решения получаются при использовании метода Холецкого (вариант разложения Гаусса) и предобусловленной схемы сопряженных градиентов, а также для рассмотренных одно-, двух- и четырехслойной трехмерных сеток.

Одна внешняя итерация для решенной двумерной задачи с избыточной «однослойной» трехмерной сеткой требует на ПЭВМ Pentium II, 400MHz. около 17 сек. при использовании прямого метода и от 5 до 30 сек. (в зависимости от точности начального приближения) при использовании предобусловленной схемы сопряженных градиентов. Эти показатели, достигнутые многоуровневой оптимизацией используемых численных схем, позволяют обоснованно судить о достижимости расчета реальной комплексной системы «склон – основные сооружения» Загорской ГАЭС в трехмерной постановке.

3. Расчетные исследования методом локальных вариаций.

Напряженно-деформированное состояние и устойчивость склона Загорской ГАЭС в плоской постановке также определялось с использованием энергетической модели грунта при минимизации энергетического функционала методом локальных вариаций. Расчетная область была дискретизирована сеткой, сгенерированной комплексом СТАДИО.

Из анализа расчетных вертикальных перемещений в различных сечениях склона в различные моменты строительства (со 2-го по 9-й этап) и эксплуатации (10 – 12 этап) следует, что интегральные осадки в период эксплуатации достигают 8 см (в верхней части котлована), а обычно от 5 см до 1 см за 5 лет. Максимальные смещения за 5 лет в некоторых точках достигают 6 см, но в большинстве случаев — 1 – 2 см за 5 лет. Следует обратить внимание на сечение в районе нижней грани котлована: здесь горизонтальные перемещения направлены в сторону котлована (5 см на поверхности при его создании), а затем после его засыпки перемещения снова направлены по склону, достигая 6 см в 5 лет.

Превалирующий коэффициент надежности в зоне зеленоцветной глины на конец эксплуатационного этапа 10 — в диапазоне от 1,2 до 2. Конечно, этот коэффициент надежности находится в пределах нормы устойчивости, но абсолютная величина не позволяет успокаиваться, т.к. переход к предельному состоянию близок. Появление дополнительных горизонтальных фильтрационных сил может вызвать это состояние.

Моделирование НДС склона методом локальных вариаций позволяет сделать следующие выводы:

склон смещается в горизонтальной плоскости до 6 см в 5 лет, осадки приблизительно в 2 раза меньше по величине;

распределение коэффициента надежности позволяет сказать, что склон хотя и не находится в предельном состоянии, но близок к нему; увеличение горизонтальных сдвигающих сил может вызвать предельное состояние в зоне зеленоцветных глин;

выемки на склоне следует выполнять с предельной осторожностью, т.к. они могут привести к провоцированию оползня;

в дальнейшем, рекомендуется провести уточнение характеристик грунтов для приведения результатов в большее соответствие с данными натурных наблюдений.

Выводы

1. Расчетные исследования НДС склона водоводов Загорской ГАЭС, выполненные методами конечных элементов и локальных вариаций для характерного поперечника IX, выявили возможность возникновения опасных оползневых процессов при определенных «ослабленных» характеристиках материалов (прежде всего, зеленоцветных глин и моренного суглинка) в рамках «энергетической» наследственной модели грунтов. Та же модель при усиленных характеристиках грунтов показывают устойчивую работу склона на всех этапах его формирования и эксплуатации.

2. Полученные результаты обосновывают необходимость разработки трехмерных нелинейных реологических моделей НДС системы «склон - сооружение», учитывающих реальную историю возведения и нагружения и дополнительные резервы несущей способности за счет пространственной неоднородности и работы системы. Именно эти трехмерные модели, принципиальная возможность построения которых информационно-алгоритмически обеспечена и подтверждена в ходе выполненных исследований, и предлагается калибровать по данным натурных наблюдений и интегрировать в действующую компьютерную систему мониторинга СиМонЭкс-3ГАЭС.

3. В настоящее время результаты наблюдений за смещениями оползневой склона, прежде всего участка «Южный», не могут быть использованы для строгой калибровки математической модели как из-за недостаточного количества обратных отвесов, так и вследствие малой достоверности показаний их основной части. Поэтому представляется необходимым провести модернизацию имеющихся отвесов и, возможно, установить новые отвесы в «неохваченных» зонах проявления оползневых явлений.

4. Выполненные разработки и исследования выявили специфические уязвимые звенья в построении калиброванных моделей многих грунтовых сооружений:

сильное влияние «естественного» состояния, формируемого при весьма неопределенных условиях, на поведение сооружений в наблюдаемые периоды строительства и эксплуатации,

трудности обоснованного задания параметров для неоднородных нелинейных реологических моделей,

возможность достижения натурных показателей при неединственном их наборе (имея в виду ограниченность натурных данных) и, следовательно, с различными количественными оценками устойчивости.

Указанные проблемы требуют дальнейшего изучения и разработки методик калибровки, согласующих результаты математического моделирования с натурными данными.

ЛИТЕРАТУРА

Белостоцкий А.М. Численное моделирование комплексного напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружений энергетических объектов. // Гидротехническое строительство. 1999. №8.

О НАЗНАЧЕНИИ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОЛЖСКОЙ ГЭС

Блинов И.Ф., Комельков Л.В., инженеры, Ронжин И.С., кандидат техн наук (АО НИИЭС), Пахневич О.С., инженер (ОАО «Волжская ГЭС»)

Многолетний опыт натуральных наблюдений показывает, что для оперативной оценки состояния гидротехнического сооружения необходимо иметь критериальные значения оценки его состояния. Это положение нашло отражение в «Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей» (14 издание, изменение №3, 1992 г.), где записано, что в период эксплуатации для каждого сооружения в местной инструкции должны быть указаны предельно допустимые значения показателей его состояния. До выхода в свет Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» и соответствующих ему нормативных документов критериальные значения показателей состояния сооружений определялись в соответствии с «Рекомендациями по определению предельно допустимых значений показателей состояния и работы гидротехнических сооружений» (П-838-85, Гидропроект)

В соответствии с Законом АО НИИЭС, АО «Институт Гидропроект» и ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» была разработана методика определения критериальных значений показателей состояния гидротехнических сооружений. Ниже изложены основные положения новой методики на примере определения критериальных значений гидротехнических сооружений Волжской ГЭС.

В состав гидротехнических сооружений Волжской ГЭС входят: здание ГЭС и сороудерживающее сооружение (СУС); водосливная плотина; плотины из грунтовых материалов (русовая плотина №40 и пойменные плотины №41 и №42); двухниточный 2-х камерный шлюз.

Общая длина гидротехнических сооружений по напорному фронту составляет 4,9 км, из которых 1,6 км занимают бетонные сооружения.

Здание ГЭС — русловое, совмещенного типа, — состоит из 11 агрегатных секций по два агрегата в каждой. Общая длина электростанции по фронту — 736 м. Высота здания ГЭС — 79 м. Размер агрегатной секции вдоль потока равен 90 м.

Понур гидроэлектростанции выполнен в виде железобетонной плиты длиной 35,7 м и толщиной 0,5 м. В примыкании к гидроэлектростанции понур имеет гибкий участок из асфальтобетона и битумной смеси, прикрытый сверху тремя рядами досок, стянутых болтами.

С левой стороны к зданию гидроэлектростанции примыкает бетонная водосливная плотина. С грунтовой плотиной гидроэлектростанция сопрягается подпорными стенками.

Вследствие пологого наклона слоев коренных отложений в сторону левого берега основанием здания ГЭС служат разные горизонты песчано-алевролитовых пород.

Водосливная плотина имеет распластаный профиль с выдвинутой в верхний и нижний бьефы фундаментной плитой и анкерным понуром со стороны верхнего бьефа. Максимальная высота плотины от низа зубьев до верха бычков составляет 44,35 м. По длине плотина разбита на 14 секций, причём каждая секция включает по два водосливных пролёта. Подземный фильтрационный контур плотины усилен двумя рядами металлического шпунта: первый ряд (ряд «А») расположен в начале понура, а второй (ряд «Б») — под передним краем фундамента водослива; расстояние между шпунтовыми рядами 57 м. Шпунты прорезают аллювиальные пески и входят в менее проницаемые песчано-алевролитовые породы (с коэффициентом фильтрации примерно в 70 раз меньшим, чем у песка).

Для снятия фильтрационного напора в основании под подошвой плотины сделан дренаж в виде трёхслойного обратного фильтра, расположенный между низовым и верховым зубьями фундаментной плиты.

В нижнем бьефе под водобоем идут два ряда вертикальных скважин с расстоянием между рядами 10 м и между скважинами в рядах 20 м. Скважины служат для снятия напора под плотиной в царцынских песках, связанных местами с верхним бьефом.

Основанием плотины служат современные аллювиальные отложения, покоящиеся на коренных породах третичных отложений. Общая мощность аллювиальных отложений под подошвой плотины составляет около 6 м у левого конца плотины, 8 — 10 м в центральной части и 8 м у гидроэлектростанции; литологически они представлены мелкозернистыми, среднезернистыми и разнозернистыми песками.

Грунтовые плотины. Русловая грунтовая плотина № 40 длиной по гребню 1200 м перекрывает русло р. Волги между правым берегом и зданием электростанции. Пойменная грунтовая плотина № 41 расположена на пойме, между водосливной плотиной и шлюзами. Длина плотины от левобережного устоя водосливной плотины до устоя средней головы шлюза правой линии равна 800 м.

Грунтовая плотина № 42 находится также на пойме, между шлюзами и левым берегом долины р. Волги. Длина плотины от устья средней головы от поза левой линии до берега составляет 1250 м. На этом участке в примыкании к шлюзу грунтовая плотина перекрывает русло современной р. Ахтубы, а у левого берега пересекает старицу Ахтубы. Все три плотины однородные намывные из мелкозернистых песков общей длиной 3250 м.

Дренаж на большей части грунтовых плотин устроен смешанного типа — с наклонной верхней частью (в виде обратного 3-х слойного фильтра) и нижней дренажной призмой. Наклонная часть дренажа уложена на низовом откосе с заложением 1 : 3, каждый из слоёв обратного фильтра имеет толщину 0,3 м, а каменная пригрузка — 1,0 м на 3-х слойном обратном фильтре. В нижней призме пойменных плотин толщина пригрузки увеличена до 4 м с тем, чтобы внутри призмы проложить сборные железобетонные дырчатые трубы дренажного коллектора размерами 1,1 x 1,8 м.

В основании русловой плотины № 40 залегают песчано-алевролитовые породы и алевролиты царицынской свиты с теми же характеристиками, что и в правобережном примыкании.

Пойменные грунтовые плотины № 41 и № 42 имеют в основании мощную толщу современных аллювиальных песков, подстилаемых песками хазарского яруса. В аллювиальных песках встречаются как старичные грунты с плохой водоотдачей, так и линзы гравийно-галечниковых отложений с повышенной фильтрационной способностью.

Водоупор в основании плотины № 40 расположен на отметке (- 40) м, ниже которого залегают водопроницаемая толща пролейских песков, содержащих напорные агрессивные воды. Возможность напорной фильтрации по водопроницаемым слоям пролейского горизонта и выпора вышележащего слоя алевролитов заставила предусмотреть устройство песчаной присыпки за банкетом (расположен в низовом клине, под наклонным дренажем) до отметки (- 14,0) м, а также разгрузочные дренажные скважины.

Во избежания развития суффозионных явлений как по трещинам скальных и полускальных пород, так и по контактам песчанников, песков и песчано-алевролитовых пород, проектом были предусмотрены и осуществлены противофильтрационные мероприятия в виде цементационной завесы вглубь правого берега протяжением около 300 м и уширения профиля плотины со стороны верхнего и нижнего бьефов.

Натурные визуальные и инструментальные наблюдения за состоянием сооружений Волжской ГЭС проводятся за:

- уровнями бьефов;
- температурой наружного воздуха и воды;
- осадками водосливной плотины, здания ГЭС и плотин из грунтовых материалов;
- раскрытием межсекционных швов бетонных сооружений и их взаимными смещениями;
- противодавлением в основаниях здания ГЭС и водосливной плотины;

пьезометрическими уровнями в теле и основании плотин из грунтовых материалов (плотины №№ 40 – 42);

фильтрационными расходами в закрытом дренаже плотин №№ 41 и 42 и в сопряжении плотины № 40 со зданием ГЭС;

- температурой воды в дренаже;
- размывами русла за рисбермой;
- уровнями мастики в шахтных шпонках;

Всего для контроля состояния основных сооружений напорного фронта Волжской ГЭС было установлено 939 единиц контрольно-измерительной аппаратуры.

Гидросооружения ГЭС эксплуатируются уже более 40 лет. Длительный срок эксплуатации приводит не только к старению самих сооружений, но и к физическому износу и моральному старению КИА. Поэтому до назначения критериев и анализа состояния ГЭС была выполнена оценка достоверности показаний КИА.

Понятие достоверности показаний КИА понималось как уровень чувствительности КИА к контролируемому фактору. Оценки достоверности показаний КИА выполнены по следующим характеристикам связи показаний КИА ($У$) с внешними воздействиями (УВБ, УНБ, напор, температура воздуха) с использованием регрессионной модели:

коэффициенту корреляции с действующим фактором;

коэффициенту Фишера F (критерий значимости регрессионной модели, характеризующий правильность выбранной формы связи рядов показаний КИА и внешних воздействий);

отношению стандарта ошибки оценки наблюдаемых значений $У$ относительно значений регрессионной модели к стандарту процесса $У - (\delta_{\text{оц}} / \delta_y)$;

наличию необоснованных (несвязанных с внешними воздействиями) трендов, выбросов и скачков показаний измерительных преобразователей.

Уровень достоверности показаний квалифицировался как «высокий», «средний» и «низкий». При выборе диагностических показателей, используемых при назначении критериев безопасности, в первую очередь отбирались КИА с оценкой достоверности показаний не ниже «среднего».

Статистический анализ и обработка данных в среде «WINDOWS» производилась с использованием программного пакета STATISTICA фирмы StatSoft USA.

В качестве иллюстрации ниже приведены результаты анализа достоверности показаний пьезометров, установленных в основании секций водосливной плотины.

В основании водосливной плотины установлен 141 пьезометр, из них 116 — под понуром, водосливом и водобоем и 21 — в напорном слое царицынских песков для определения фильтрационного противодавления и контроля за работой разгрузочных скважин.

Каждая секция плотины оснащена пьезометрическим створом по оси секции из 6 — 8 пьезометров. Пьезометры водосливной плотины - напорные и оборудованы стационарными манометрами.

Для анализа достоверности показаний пьезометры плотины, с общим местоположением водоприемников в подземном контуре сооружения, объединены в следующие группы:

пьезометры понура (П61, П62, П63);

пьезометры в основании водослива: за шпунтом «Б» (П64, П74), в обратном фильтре в основании водослива (П66), перед низовым («висячим») шпунтом «В» (П67), за шпунтом «В» (П69);

пьезометры в песках напорного царицынского горизонта (П65, П68, П71).

В показаниях пьезометров понура и водослива наблюдаются убывающие тренды (монотонное падение напора) до 12 см/год. Возрастающие тренды обнаружены по показаниям пьезометров напорного горизонта (П65 и П68) в пределах секции №8 и секций №4, 6 и 14. Лаг в показаниях пьезометров не наблюдается.

В таблице 1 приведены результаты анализа и оценка достоверности показаний пьезометров, установленных в основании секции №2 водосливной плотины.

Как видно из таблицы 1, у пьезометров всех групп достоверность показаний «высокая». Исключение составляют четыре пьезометра для контроля напорного горизонта, достоверность показаний которых оценена как «средняя» (влияние неучтенных дополнительных факторов по подпитке напорного горизонта и сглаженные значения действующих факторов).

Таблица 1
 Статистико-вероятностные характеристики показаний пьезометров. Водосливная плотина. Секция №2.

№ п/п	№ КИА	$V < V >$ м	VU_{min} м	VU_{max} м	$2A$ м	δ_y м	$R(\tau)_{\text{max}}$	лаг, τ сутки	F-	$\delta_{\text{оп}}$ м	$\delta_{\text{оп}}/\delta_y$	Тренд показаний КИА м/год	Скачок показаний КИА, м	Достоверность показаний КИА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Пьезометры понура														
1	2 61	3.084	1.37	6.05	4.68	1.03	0.88	0	653	0.49	0.48			высокая
Пьезометры в основании водослива, за шпунтом «Б»														
2	2 64	-8.71	-11.31	-3.00	8.31	2.0	0.97	0	3395	0.46	0.23			высокая
3	2 74	-8.71	-11.88	-3.20	8.68	1.97	0.97	0	2897	0.48	0.24			высокая
Пьезометры в основании водослива, в трехслойном фильтре														
4	1 66	-8.49	-11.18	-2.90	8.28	2.02	0.98	0	5043	0.38	0.19			высокая
5	2 66	-8.70	-11.35	-3.00	8.35	1.98	0.96	0	2519	0.52	0.26			высокая
Пьезометры в напорном карнизском горизонте														
6	2 65	-0.116	-5.70	4.10	9.80	1.42	0.83	0	427	0.78	0.55			средняя
выбросы на -3.0 м в 88 и 97 г.г.														
7	2 68	-2.44	-4.50	3.25	7.75	1.55	0.97	0	3200	0.37	0.24			высокая
8	2 71	-3.83	-10.94	4.70	15.64	1.98	0.85	0	494	1.04	0.53			средняя

В качестве диагностических показателей противоаварийного давления в основании плотины выбраны группы пьезометров, расположенные в наиболее ответственных зонах подземного контура (табл.2).

Таблица 2

Состав диагностических показателей контроля противоаварийного давления в основании водосливной плотины

№ п/п	Наименование показателей, размерность	Место установки в сооружении	Тип и наименование КИА	Кол-во диагностических показателей
1	2	3	4	5
1	Пьезометрический уровень за шпунтом "А" (понура)	Секции 1-14	пьезометры закладные напорные П-61 (группа 1)	14
2	Пьезометрический уровень за шпунтом "Б" (водослив)	Секции 1-14	пьезометры закладные напорные П-64 и П-74(группа 2а)	14
3	Пьезометрический уровень в дренаже: водослива	Секции 1-14	пьезометры закладные напорные П-66	14
4	Пьезометрический уровень в напорном горизонте (шарницьинские пески)	секции №2,3,4,6,8,10,12,14	пьезометры закладные напорные: П-65,П-68, П-71	21
Итого				63

Согласно положениям Федерального закона контроль за безопасностью ГТС, в том числе оперативная оценка их состояния, осуществляется путем сравнения измеренных (или вычисленных на основе измерений) количественных или качественных диагностических показателей с их критериальными значениями. Новая «Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений» предусматривает определение двух уровней критериальных значений показателей состояния сооружений К1 и К2 [1].

На стадии проекта критериальные значения показателей состояния гидротехнических сооружений определяются расчетом сооружений в соответствии с действующими СНиП на проектирование бетонных плотин, плотин из грунтовых материалов и их оснований и принимаются равными расчетным значениям, соответствующим нагрузкам основного сочетания нагрузок для К1 и особого для К2.

В период эксплуатации состояние сооружения считается отвечающим нормативным требованиям и условиям эксплуатации, если значения ни одного диагностического показателя не превышает критериального значения К1.

При превышении значений одного и более диагностических показателей критериального значения К1 состояние сооружения оценивается как потенциально «опасное», а в случае превышения значений одного и более диагностических показателей критериального значения К2 как предаварийное (по действующим нормам сооружение работает с пониженными коэффициентами запаса). Под диагностическими показателями понимаются наиболее значимые для оценки безопасности и диагностики состояния ГТС и «чувствительные» к внешним воздействиям контролируемые показатели, позволяющие дать оценку безопасности и состояния системы «сооружение — основание — водохранилище».

В период эксплуатации на основе анализа результатов натурных наблюдений и опыта эксплуатации сооружения осуществляется корректировка критериальных значений К1 и К2 диагностических показателей с использованием:

данных визуальных и инструментальных наблюдений;

поверочных расчётов по откалиброванным на основе натурных наблюдений детерминистическим математическим моделям;

статистических регрессионных моделей.

В проекте рассмотрены два основных расчётных случая и два поверочных при следующих нагрузках и условиях работы сооружения:

УВБ = 15,0 м, УНБ = -12,0 м (наинизший летний) — противofильтрационные устройства работают нормально;

УВБ = 15,0 м, УНБ = -0,3 м (при пропуске расхода обеспеченностью 0,1%) — противofильтрационные устройства работают нормально;

УВБ = 15,0 м, НПУ = -12,0 м — не работает фильтр под водосливом, трещина в понуре.

УВБ = 15,0 м, НПУ = -12,0 м — не работает фильтр под водосливом, трещина в понуре, под водобоем не работают дренажные скважины и фильтр.

Первый и второй проектные случаи соответствуют положениям современных СНиП (2.06.06-85 и 2.06.01-86) для условий основного сочетания нагрузок для бетонных плотин на нескальных основаниях. Особому сочетанию нагрузок (при НПУ и нарушении одного из дренажных или одного из противofильтрационных устройств) более близок третий поверочный случай.

Таблица 3

Критериальные значения диагностических показателей состояния секции №2 водосливной плотины.

№ п/п	№ Секций	№ КИА, пьезометры закладные	Наибольшее измеренное значение показателя, отм. уровня воды, м	Критериальные диагностические показатели			Способ определения диагностического показателя		
				тела		Эксплуатационные значения			
				Проектные значения	К1, м		K2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ В ОСНОВАНИИ ПОНУРА, ЗА ШПУНТОМ "А"									
2	II	5П0261	6,05	8,0	8,77	7,5	8,77	по регрессионной модели	по результатам исследований методом ЭГДА (1962 г.)
ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ В ОСНОВАНИИ ВОДОСЛИВА, ЗА ШПУНТОМ "Б"									
3	II	5П0264	-3,00	2,8	0,07	-0,48	0,07		по результатам исследований методом ЭГДА (1962 г.)
ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ В ДРЕНАЖЕ ОСНОВАНИЯ ВОДОСЛИВА									
2	II	5П0266	-3,00	-0,3	-0,23	-0,51	-0,23		по результатам исследований методом ЭГДА (1962 г.)

Критерий безопасности К1 водосливной плотины по условиям устойчивости назначался с учётом показаний пьезометров при уровнях бьефов, соответствующих основному сочетанию нагрузок. Рассматривался эксплуатационный случай при пропуске паводка (НПУ) и при нормальной работе противофильтрационных устройств.

Прогноз значений пьезометрических уровней выполнен по статистической регрессионной модели на основе базы данных натуральных наблюдений.

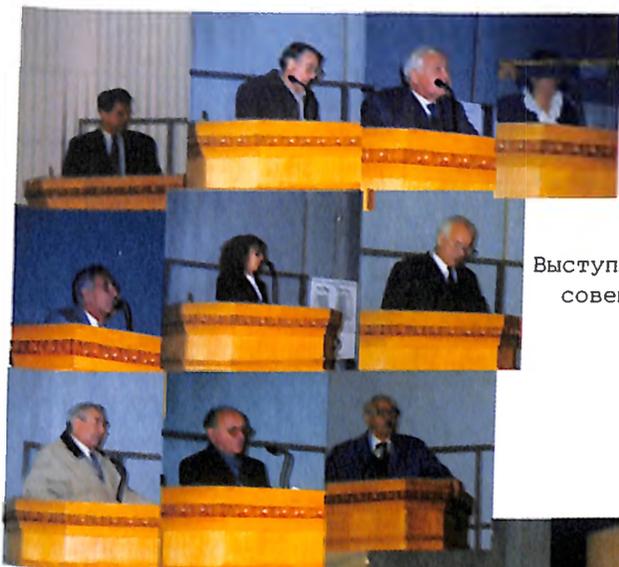
Критериальные значения пьезометрических уровней К2 водосливной плотины определены с использованием результатов исследований методом ЭГДА (в 1962 г.) для условий особого сочетания нагрузок при ФПУ=16,3 м и УНБ=-0,23 м. [2,3].

В таблице 3 приведены полученные значения К1 и К2 для пьезометров понура и водослива секции №2.

Первый опыт применения основных положений новой «Методики...» на примере определения критериальных значений пьезометрических уровней в основании водосливной плотины выявил ряд сложностей определения критериальных значений второго уровня К2. Эти сложности связаны с отсутствием данных расчётов на стадии проектирования при воздействии на сооружение нагрузок особого сочетания и данных натуральных наблюдений при этих нагрузках в период эксплуатации. Для определения критериальных значений К2 в этих случаях требуется выполнение поверочных расчётов с использованием фактических физико-механических характеристик материалов сооружения и его основания. Вместе с тем применение основных положений новой методики расширяет возможности контроля состояния сооружения и своевременного выявления опасных аномалий в работе системы «гидросооружение — основание — водохранилище».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Методика** определения критериев безопасности гидротехнических сооружений. РАО «ЕЭС России» (АО «НИИЭС», ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденесева», АО «Институт Гидропроект»). М. 2000г.
2. **Вощинин А.П., Малышев М.П.** Сводный отчёт по фильтрационным исследованиям методом ЭГДА для основных сооружений Сталинградского гидроузла. НИС Гидропроекта. М. 1960 г.
3. **Ронжин И.С., Кузнецова О.И.** Дополнительное изучение методом ЭГДА фильтрации в основных сооружениях Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС. М.: НИС Гидропроекта. 1962.



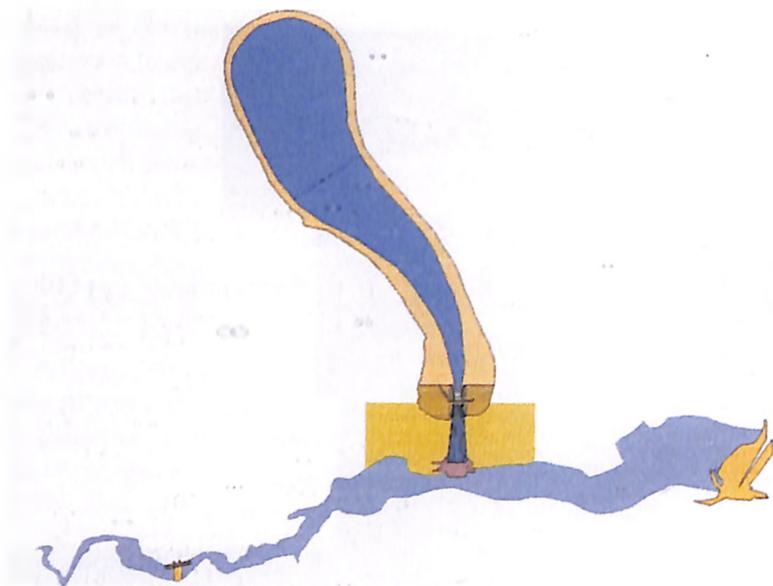
Выступления участников
совещания-семинара



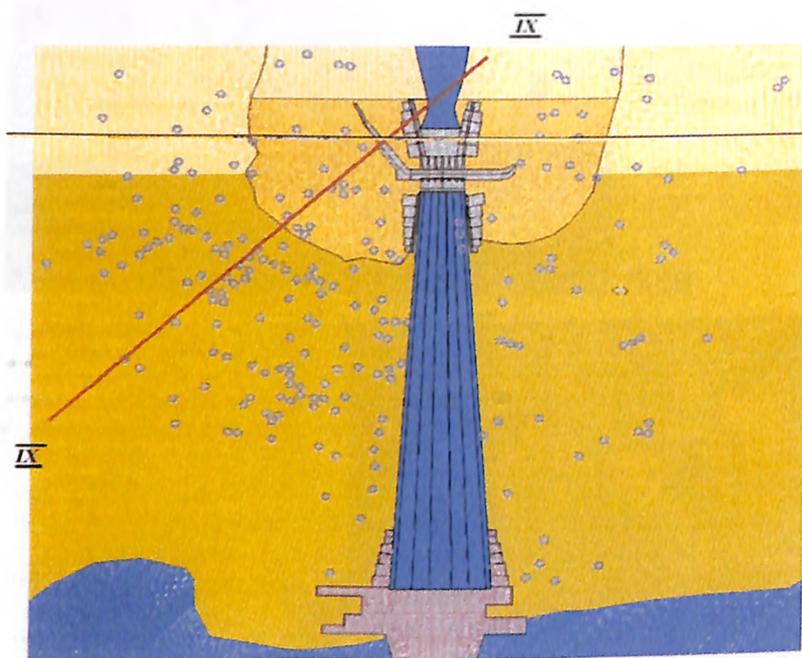
Президиум



Обсуждение
представленных
разработок



Основные сооружения Загорской ГАЭС (общий вид)

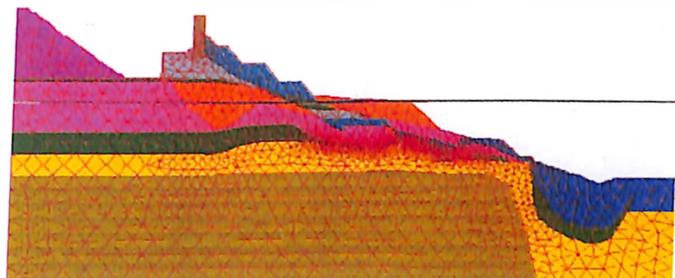


«Расчетный» поперечник IX склона Загорской ГАЭС
(к статье Рассказова Л.Н., Белостоцкого А.М. и др.)

Без искажений



Масштаб 4:1 по вертикальной оси

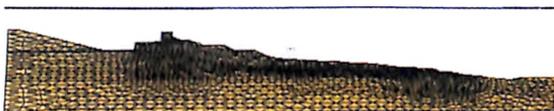


Параметризованная конечноэлементная модель поперечника IX склона Загорской ГАЭС

Этап I – естественное состояние



Этап 4 – возведение дамбы и подпорных стенок ВБ



Этап 5 – выемка котлована



Этапы 8,9,10 – отсыпка контрбанкета, подъем уровня ВБ, эксплуатации.

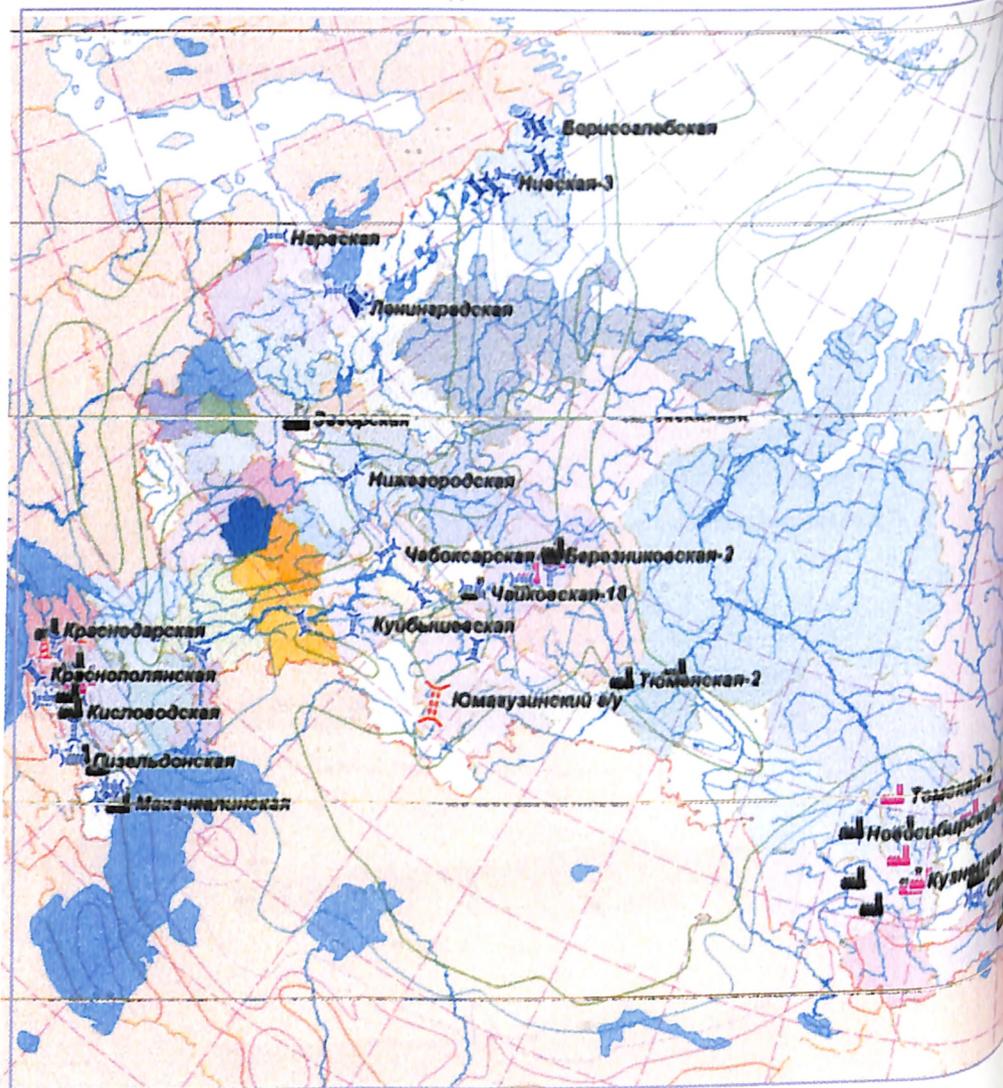


Конечноэлементные модели этапов формирования и эксплуатации склона Загорской ГАЭС (поперечник IX)

(к статье Рассказова Л.Н., Белостоцкого А.М. и др.)

Карта энергетических объектов Российской

Федерации, расположенных в сейсмоопасных зонах



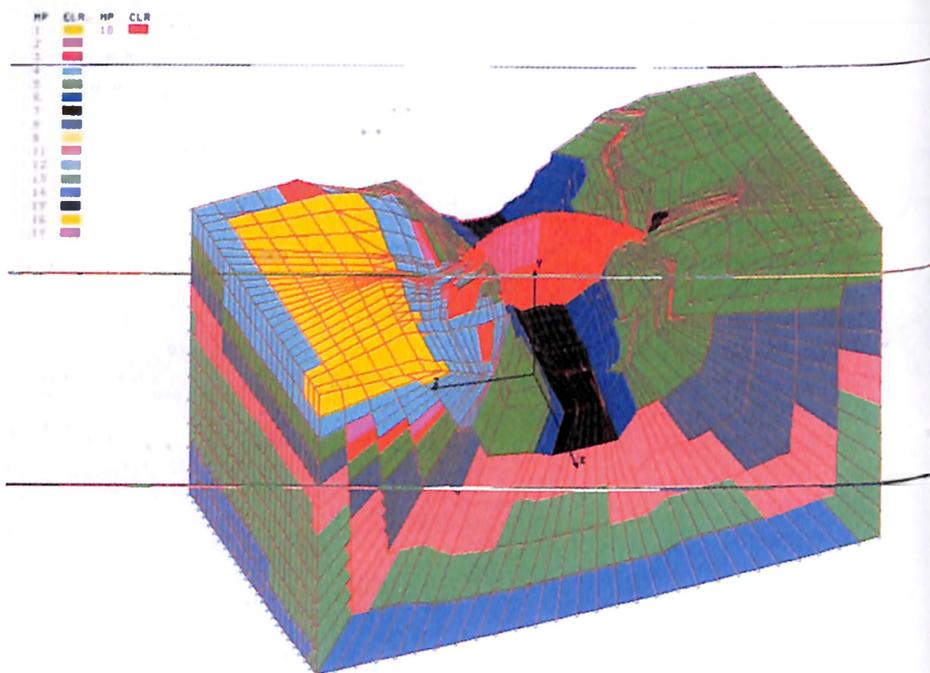
Энергообъекты:

- I ГЭС
- ГРЭС
- ТЭЦ

Границы зон интенсивности сотрясений на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64



(рисунок к статье Савича А.И., Семенова И.В., Храпкова А.А.)

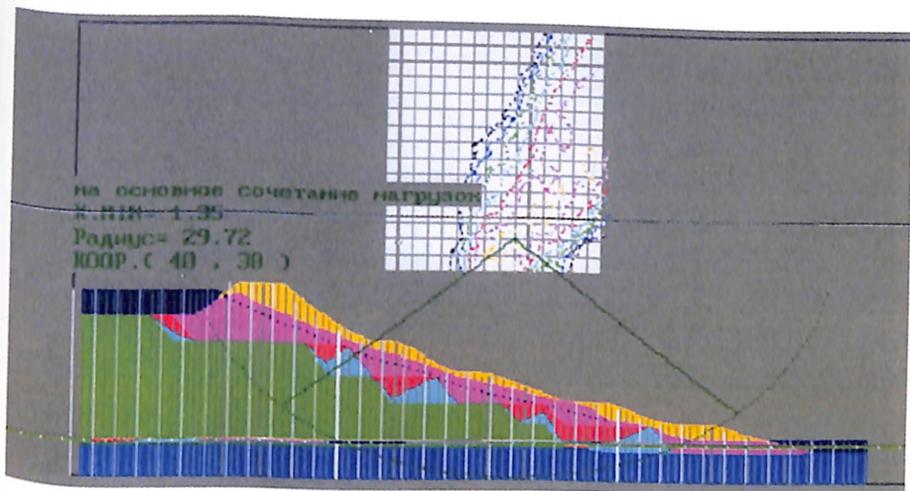


Конечноэлементная модель системы «плотина—основание»
Миатлинской ГЭС

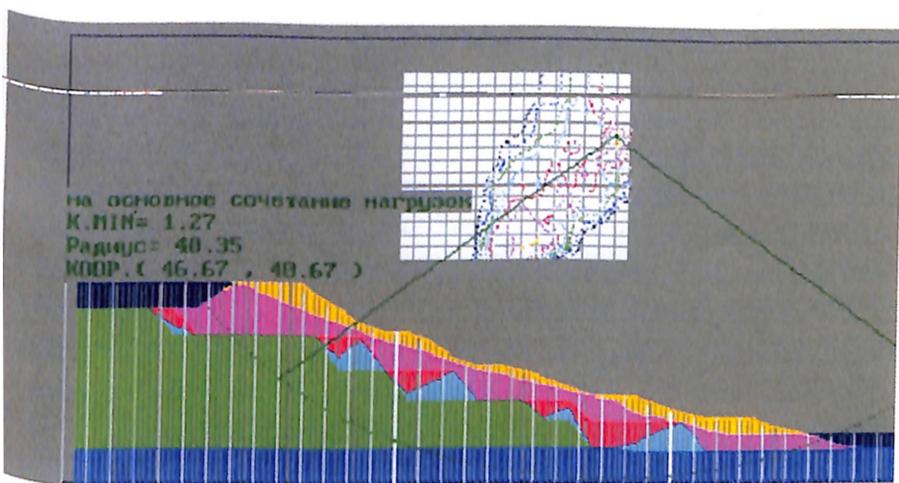


Расчетная схема Иркутской плотины с разбивкой на этапы
строительного периода

(рисунки к статье Грошева М.Е.)



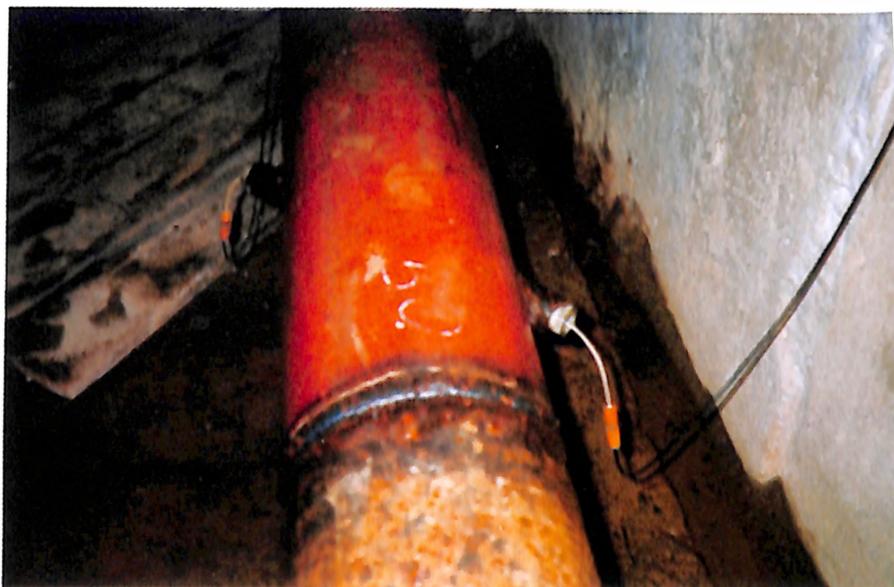
а)



б)

Расчеты устойчивости низового откоса дамбы золошлакоотвала:
 а) при нормальном положении кривой депрессии (уровень надежности составил $V=0,9968$, что допустимо для сооружений III класса); б) при повышенном положении кривой депрессии (уровень надежности составил $V=0,9875$, что недопустимо для сооружений III класса)

(рисунок к статье Желанкина)



Размещение акустических преобразователей на коллекторе суммарных дренажных расходов водоприемника Загорской ГАЭС



Вычислительный блок ультразвукового расходомера (рисунки к статье Клабукова В.М., Черненко В.Н.)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА СЛОЖНЫХ ОДНОТИПНЫХ ОБЪЕКТАХ

*Арефьев Н.В., доктор техн. наук (СПбГУ), Василевский А.Г. кандидат
техн. наук, Добрынин С.Н., Иващенко Д.А., доктора техн. наук,
Тихонова Т.С., кандидат техн. наук (ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева»)*

Методика оценки вероятности возникновения аварийных ситуаций применена для гидротехнических сооружений электростанций в виде автоматизированной системы компьютерных технологий.

При эксплуатации сложных и ответственных инженерных объектов встречаются задачи, ответы на которые, на современном уровне развития науки не могут быть получены теоретическим путем, а в то же время их решение насущно необходимо. К ним относится проблема определения процессов развития аварийных ситуаций и вероятности их реализации на сложных и, кроме того, уникальных объектах, разрушение которых может привести к большим материальным, социальным и экономическим ущербам. К таким объектам можно отнести гидроэлектростанции, нефте- и газопроводы, хранилища опасных веществ и другие.

В настоящее время ни один из известных методов расчета: детерминированный, вероятностный, статистический и даже экспертный не дает приемлемого ответа на поставленные вопросы. Основными препятствиями при решении такой задачи являются:

■ существенный недостаток исходной информации (об экстремальных, случайных нагрузках и воздействиях, о дефектах в оборудовании, недостатках строительных и монтажных работ, недоработках проекта, упущениях эксплуатационного персонала и т.д.);

■ невозможность математического моделирования процессов развития аварийных ситуаций в инженерных объектах из-за недостатка знаний о закономерностях таких процессов на сложных и уникальных объектах.

Предметом исследования данной работы является любая система сложных объектов одинакового назначения, каждый из которых уникален. Для определенности, в дальнейшем, такую систему будем называть системой однотипных объектов. Далее будем рассматривать только вопросы, связанные с анализом и вероятностной оценкой развития в них аварийных ситуаций. Очевидно, сложность рассматриваемых систем определяет и значительное число различных, возможных в них процессов развития аварийных ситуаций. Это обстоятельство требует разработки классификации таких процессов.

Обозначим множество всех возможных, в рассматриваемых здесь системах однотипных объектов, процессов развития аварийных ситуаций: M . Введем понятие признаков, как характерных особенностей, которыми такие процессы отличаются друг от друга.

Пусть число введенных признаков: n . Введем обозначение i -ого признака процессов развития аварийных ситуаций — x^i (где $i = 1, 2, 3, \dots, n$). Тогда общий ряд всех признаков для множества M будет:

$$x^1, x^2, x^3, \dots, x^i, \dots, x^n$$

Все возможные в рассматриваемом множестве M процессы развития аварийных ситуаций можно разбить на отдельные классы, внутри которых эти явления характеризуются одинаковыми значениями признаков:

$$x^i, i = \text{const}; (i = 1, 2, \dots, n; j^i = 1, 2, \dots, j^i_{\max})$$

Описанная операция создает систему классификации процессов развития аварийных ситуаций.

Классы (или группы) классификации удобно представлять графически либо с помощью понятия пространства признаков процессов развития аварийных ситуаций (далее — пространство признаков), либо с помощью ветвящейся структуры («дерева»).

Введение пространства признаков определяет координаты каждого элемента (класса) этого пространства и тем самым задает любую группу процессов развития аварийных ситуаций, что позволяет далее осуществить математическую формализацию операций с этими понятиями.

Множество изучаемых здесь аварийных процессов в их развитии удобно представлять в виде многоуровневой ветвящейся структуры («дерева»), каждая ветвь которой указывает направление развития конкретного процесса. Предложенная классификация позволяет построить такую структуру, которую далее будем называть «деревом» процесса развития аварийных ситуаций.

Очевидно, общее число классов процессов развития аварийных ситуаций равно числу элементов пространства признаков

$$V_{n = j^1_{\max} \cdot \dots \cdot j^n_{\max}}$$

Итак, каждый класс представляется группой процессов, попадающих в элемент n -мерного пространства признаков, положение которого определяется заданием n координат.

Так как процесс развития аварийных ситуаций понятие, в своей природе, случайное (вероятностное), введем в пространстве признаков функцию дискретных переменных (координат элементов этого пространства):

$$P(x^1_{j_1}, x^2_{j_2}, \dots, x^i_{j_i}, \dots, x^n_{j_n}),$$

которая определяет вероятность реализации рассматриваемых процессов, входящих в класс, характеризуемый этими координатами.

В настоящее время не существует гарантированных теоретических рекомендаций и методов получения функции P . Поэтому единственным достоверным источником получения информации о характере этой функции является статистика аварийных ситуаций в рассматриваемой системе однотипных (но уникальных) объектов.

Тогда функцию P можно представить в виде:

$$P(x_{j1}^1, \dots, x_{jn}^n) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} (N(x_{j1}^1, \dots, x_{jn}^n) / N_0)$$

где N_0 — общее число процессов развития аварийных ситуаций в рассматриваемом множестве M ; $N(x_{j1}^1, \dots, x_{jn}^n)$ — число реализаций аварийных ситуаций, входящих в класс таких процессов отказов с значениями признаков, равными: $(x_{j1}^1, \dots, x_{jn}^n)$.

Следует подчеркнуть отличие формулы от обычно применяемого в статистическом анализе отношения. Здесь $N(x_{j1}^1, \dots, x_{jn}^n)$ — число аварийных ситуаций, как функция многих переменных, характеризующая процесс развития аварийных ситуаций, в то время как обычно ее используют только как функцию одного переменного (одного из признаков процесса): $N(x_{j1}^1)$. Очевидно, в последнем случае провести статистический анализ всего процесса невозможно. Под N_0 здесь понимается общее число аварийных ситуаций в изучаемой системе безотносительно к числу объектов и срокам их службы, в то время как в литературе для определения среднегодовой вероятности возникновения аварийной ситуации под N_0 понимают общее число обследованных объектов и срок их службы. Именно из-за этого обстоятельства разброс значений в полученных в таких работах результатах составляет примерно один или два порядка.

Из сказанного видно, что функция P будет определена на множестве процессов развития аварийных ситуаций, реализуемых на уникальных инженерных объектах одинакового назначения.

Очевидно единственным способом оценки функции P является статистический анализ данных аварийных ситуаций в рассматриваемом типе инженерных объектов. Для получения достоверного результата к такому набору данных предъявляются следующие требования:

число аварийных ситуаций в анализируемом множестве должно быть таким, чтобы можно было выявить основные статистические закономерности;

описание аварийных ситуаций должно быть достоверным и как можно более подробным, чтобы была возможность определить как можно большее число признаков процесса;

для проводимого анализа желательно иметь автоматизированную информационно-поисковую систему данных аварийных ситуаций, так как выборки следует производить не по одному, а по нескольким признакам одновременно, что «вручную» на базе многих сотен случаев выполнить практически невозможно.

Анализ данных аварийных ситуаций на однотипных объектах, образующих систему, позволяет решить следующие задачи: выбрать число и номенклатуру признаков классификации процессов развития аварийных ситуаций как основы для разработки системы классификации; определить шкалы и диапазоны изменения значений признаков классификации; определить размерность пространства признаков и число уровней ветвления «дерева» процессов аварийных ситуаций.

Каждый класс аварийных ситуаций будет определяться тремя значениями признаков: $(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$.

В этих условиях «дерево» процессов аварийных ситуаций будет иметь три уровня ветвления:

первый уровень определяется признаком x^1 (причина);

второй уровень определяется признаком x^2 (место);

третий уровень определяется признаком x^3 (характер).

Число ветвей на первом уровне — J^1_{max} , на втором уровне — $J^1_{max} * J^2_{max}$, на третьем уровне — $J^1_{max} * J^2_{max} * J^3_{max}$.

Следующим этапом исследования является определение функции $P(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$ — вероятности реализации групп процессов аварийных ситуаций с координатами $(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$ в пространстве признаков.

Здесь для численной оценки этой величины предлагается использовать отношение:

$$\rho(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3}) = N(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3}) / N_0,$$

где значения N и N_0 определены выше.

Значение $\rho(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$ есть частота реализации процессов развития аварийных ситуаций со значениями признаков $(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$.

Численное значение величин N и N_0 определяется из анализа базы данных аварийных ситуаций, реально осуществившихся в рассматриваемых технических системах. Практически такой анализ возможно выполнить с помощью автоматизированной информационно-аналитической системы данных по аварийным ситуациям.

Ниже предлагается алгоритм определения $N(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$ и $\rho(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$ всех классов процессов развития аварийных ситуаций.

1. В автоматизированном режиме из базы данных аварийных ситуаций выбираются все случаи с одним из значений признака x^1 (причина): x^1_{j1} . Тем самым определяются все реальные аварийные ситуации, произошедшие по причине $x^1_{j1=1}$ и находящиеся в слое $x^1_{j1=const}$ пространства признаков.

2. Из полученного в пункте 1 массива аварийных ситуаций выбираются все процессы со значением x^2_{j2} признака x^2 (место аварии). Тем самым в слое $x^1_{j1=const}$, полученном выше, выделяется столбец элементов пространства признаков со значениями: $x^1_{j1=const}; x^2_{j2=const}$.

3. Из массива реализаций аварийных ситуаций, полученного в результате операций выполненных в пункте 2, с помощью автоматизированной системы данных строятся гистограммы распределения процессов аварийных ситуаций по признаку x^3 (характеру аварии). В результате получаем число реализованных процессов аварийных ситуаций в каждом элементе столбца $x^1_{j1=const}; x^2_{j2=const}$ пространства признаков, распределенных по значениям признака $x^3: x^3_{j3} (j^3 = 1, 2, \dots, J^3_{max})$, т.е. определяем числа $N(x^1_{j1=const}; x^2_{j2=const}; x^3_{j3})$.

Примечание: очевидно, не во всех элементах пространства признаков числа N будут отличны от нуля. Если в каком-то элементе число $N=0$, то это значит, что процессы аварийных ситуаций со значениями признаков, определяющих данный элемент, на практике не зафиксированы.

4. Делением числа N , полученного в предыдущем пункте, на общее число рассматриваемых аварийных ситуаций N_0 получаем искомое значение частоты реализаций процессов аварийных ситуаций $\rho(x^1_{j1=const}; x^2_{j2=const}; x^3_{j3}) = N(x^1_{j1=const}; x^2_{j2=const}; x^3_{j3})/N_0$, т.е. распределение по характеру процессов, реально происходящих в месте $x^2_{j2=const}$ по причине $x^1_{j1=const}$.

5. Чтобы получить распределение частот ρ по характеру и месту аварийных ситуаций, осуществившихся по причине $x^1_{j1=const}$, необходимо операции пунктов 3 и 4 данного алгоритма выполнить циклически для всех значений признака $x^2: x^2_{j2} (J^2 = 1, 2, \dots, J^2_{max})$.

В результате получим числа $N(x^1_{j1=const}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$ и частоты $\rho(x^1_{j1=const}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$ реализованных процессов аварийных ситуаций в слое элементов пространства признаков со значением $x^1_{j1=const}$.

6. Для получения значений частот реализаций процессов аварийных ситуаций во всем трехмерном пространстве признаков необходимо пункты с 1 по 5 данного алгоритма циклически повторить для всех значений признака $x^1: x^1_{j1} (j^1 = 1, 2, \dots, j^1_{max})$.

В результате получаем табуляцию дискретной функции $\rho(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$, определяющей частоты реализации в трехмерном пространстве признаков процессов развития аварийных ситуаций для объектов рассматриваемого типа.

Выводы

1. Предложенный алгоритм позволяет на базе анализа данных аварийных ситуаций для систем объектов заданного типа получить функцию $\rho(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$ в трехмерном пространстве признаков, определяющую классы процессов аварийных ситуаций и частоту их реализации.

2. Следует иметь в виду, что функция $\rho(x^1_{j1}; x^2_{j2}; x^3_{j3})$, определяет лишь общие закономерности появления аварийных ситуаций в инженерных объектах исследуемого типа и не учитывает уникальных особенностей каждого конкретного объекта. Учет этих особенностей может быть осуществлен методом экспертных оценок.

3. Описанная выше методика применена для гидротехнических сооружений электростанций в виде автоматизированной системы компьютерных технологий.

МЕТОДИКА УПРОЩЕННОЙ ОЦЕНКИ УЩЕРБОВ, ВЫЗЫВАЕМЫХ АВАРИЯМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Файн И.И., кандидат экон. наук, Троицкий А.В., инженер
(АО «Институт Гидропроект»),*

Иващенко И.Н., кандидат техн. наук (АО НИИЭС).

При составлении деклараций безопасности гидротехнических сооружений, а также для определения суммы страховки риска гражданской ответственности за вред, причиненный аварией гидротехнических сооружений, требуется оценка в стоимостной форме ущербов, вызванных возможной гидродинамической аварией и неконтролируемым опорожнением водохранилища.

В прошлом такие работы выполнялись по следующей схеме. Сначала проводились расчеты параметров зоны распространения аварии, затем на картографический материал наносилась зона возможного затопления. После этого организовывался выезд специалистов, которые на местах, с помощью местных органов власти, определяли натуральные и стоимостные показатели объектов народного хозяйства и природного комплекса, находящихся в зоне возможного воздействия аварии. Для определения ущербов при этом применялась специальная методика, разработанная АО «Институт Гидропроект». Подобная схема организации работ по оценке ущербов, несмотря на значительные временные и трудовые затраты, успешно действовала в условиях государственной собственности на все хозяйственные, жилые и природные объекты.

Специалисты, выезжающие на места для сбора материалов, действовали под эгидой органов гражданской обороны и практически нигде не получали препятствий при выполнении своих задач. В настоящих экономических условиях, при многообразии форм собственности и рыночных отношениях, работа на местах по традиционной схеме может быть существенно затруднена или оказаться просто невыполнимой. В связи с этим появилась необходимость разработки методики, которая позволяла бы проводить оценку ущербов без выезда специалистов для обследования зон затоплений при недостаточности или неопределенности информации об освоенности территорий зоны.

Ассоциация «Гидропроект» в текущем году разработала 1-ю редакцию такой упрощенной методики. Этот документ предполагает выполнение расчетов параметров гидродинамической аварии и нанесение их результатов на картографический материал.

В качестве исходной информации для проведения расчетов ущербов в методике используются следующие результаты расчета параметров последствий гидродинамической аварии:

Нижний бьеф:

общая площадь зоны катастрофического затопления с нанесением ее границ на планшеты государственной топоъемки масштаба 1:25000 или 1:10000;

по характерным сворам (не менее 3, исключая створ гидроузла и конечный створ зоны катастрофического затопления): максимальная глубина затопления, время добегания волны от начала образования прорана; максимальная скорость течения, продолжительность затопления;

Верхний бьеф:

скорость снижения уровня;
остаточный уровень воды после аварии;
объемы вытекшей и оставшейся воды;
время опорожнения водохранилища.

Упрощенная методика предполагает определение натуральных показателей воздействия гидродинамической аварии на хозяйственные и коммунальные объекты, а также на земельные угодья без обследования на местах на базе доступной информации об освоенности территории зон катастрофического затопления и водохранилища.

При этом используются данные хозяйственного и социального развития субъекта Федерации, на территории которого располагается рассматриваемый гидроузел и зона возможного воздействия аварии.

В связи с этим на начальном этапе работы по данным официальной статистики, а также по справочным, литературным и иным источникам определяются следующие общие показатели по субъекту Федерации: общая площадь территории; средняя плотность населения субъекта Федерации; численность населения субъекта Федерации с разбивкой на городское и сельское; средняя плотность населения в городах и поселках городского типа; общая длина автодорог общего пользования или плотность на тысячу км² территории; балансовая стоимость основных производственных фондов; валовый национальный продукт за год.

Для удобства пользования методикой некоторые из указанных показателей приведены в приложениях к методике.

Затем с использованием данных топографических планшетов, на которых нанесена зона воздействия аварии, *в нижнем бьефе*:

производится разбивка общей площади затопления на зоны сильного, среднего и слабого воздействия с выделением по каждой зоне: земель, занятых населенными пунктами или промышленными объектами, земель сельскохозяйственного назначения, земель, занятых естественными природными ландшафтами;

составляется перечень затронутых населенных пунктов и собираются сведения о количестве проживающего в них населения, характере жилых строений и размерах приусадебных участков;

определяются участки затрагиваемых транспортных коммуникаций, линий энергоснабжения и связи;

выявляются прочие специфические объекты;

По верхнему бьефу:

выявляются населенные пункты и объекты, расположенные около водохранилища;

устанавливаются длины судовых ходов, а также объекты водного транспорта;

выявляются водозаборные устройства (местоположение, тип, расход);

определяются прочие виды водопользования.

Стоимостная оценка ущербов от гидродинамической аварии производится в действующих ценах с использованием положений, установленных государством для определения компенсационных средств при нанесении прямых ущербов различного вида (материальный, экологический, социальный и непредвиденный).

Косвенный ущерб от аварии по настоящей методике не определяется.

Материальный ущерб основным производственным фондам промышленных предприятий, транспортным магистралям, объектам энергоснабжения и связи оценивается затратным методом по остаточной балансовой стоимости зданий и сооружений с учетом степени их повреждений от гидродинамической аварии.

Материальный ущерб жилищному фонду определяется сравнительным методом с выделением типовых элементов, стоимость которых распространяется на остальные объекты жилищного комплекса.

Ущерб сельскому, лесному и рыбному хозяйству, а также экологический ущерб определяется на базе нормативов, определенных земельным, лесным и природоохранным законодательством.

Прочие и непредвиденные виды ущерба, а также расходы на ликвидацию последствий аварии определялись в процентах от общей величины ущерба.

Социальный ущерб определяется только в натуральном выражении и сводится к прогнозированию числа погибших и пострадавших при гидродинамической аварии.

Применение методики поясним на примере определения ущербов основным производственным фондам. Этот вид ущерба, как правило, наиболее значительный при гидродинамической аварии и для отдельных объектов может составлять до 80% от общей суммы ущербов.

Первоначально производится разбивка территории, затронутой гидродинамической аварией, на зоны сильного, среднего и слабого разрушения. Критерии такой разбивки даны в методике, где также помещены степени разрушения (утраты остаточной балансовой стоимости) по каждому виду зон.

Расчет ущербов основным фондам производится по формуле:

$$I_1 = I_1(\text{фон}) \times (S_1 \times K_1 \times \Pi_1 + S_2 \times K_2 \times \Pi_2 + S_3 \times K_3 \times \Pi_3),$$

где: I_1 — ущерб основным производственным фондам; $I_1(\text{фон})$ — общая балансовая стоимость основных производственных фондов субъекта Федерации, отнесенная к единице его территории; $I_1(\text{фон}) = C_1/S$, где C_1 — общая балансовая стоимость основных производственных фондов субъекта Федерации, S — площадь территории субъекта Федерации; S_1, S_2, S_3 — площадь соответственно зон сильных, средних и слабых разрушений;

K_1, K_2, K_3 — степень разрушения в зонах сильных, средних и слабых разрушений; Π_1, Π_2, Π_3 — коэффициент концентрации основных фондов на территории зон соответственно сильных, средних и слабых разрушений: $\Pi = P/P_{\text{фон}}$, где P — плотность населения в зонах соответственно сильных, средних и слабых разрушений; $P_{\text{фон}}$ — средняя плотность населения по субъектам федерации.

Аналогично определяются ущербы готовой продукции предприятий, ущербы элементам транспорта и связи, жилому фонду, только в каждом случае принимаются свои фоновые показатели балансовой стоимости, а также площади и степени разрушений.

Ущерб сельскому хозяйству, лесному и рыбному хозяйствам определяются также, как и в действующей методике Гидропроекта.

Ущерб окружающей природной среде определяется в случае, если после аварии в водоток начнут поступать без очистки загрязненные стоки. Этот вид ущерба оценивается по нормативам сброса основных загрязняющих веществ (БПК; аммонийный азот, взвешенные вещества, фосфор).

Оценку возможных потерь (гибель людей) и пострадавших при гидродинамической аварии предлагается проводить по методике, изложенной в работе «Организация экстремальной медицинской помощи населению при стихийных бедствиях и других чрезвычайных ситуациях» под редакцией В.В. Мешкова., М., 1992 г.

Оценка производится в процентах от численности населения, проживающего в различных зонах воздействия. Необходимые для расчета данные представлены в таблице, помещенной в методике.

Кроме того, в методике предложены аналитические способы оценки ущербов по верхнему бьефу, которые включают ущербы водозаборным сооружениям, ущербы водному транспорту и упомянутые выше ущербы рыбному хозяйству.

Отдельные виды ущербов, например расходы на ликвидацию последствий аварии на территории населенных пунктов, определяются в процентах от соответствующих видов ущерба.

Таким образом, методика позволяет:

- учесть особенности хозяйственного развития территорий;
- определить различные виды прямого ущерба, что особенно важно для страхования риска гражданской ответственности;
- использовать для расчетов доступную информацию.

В настоящее время 1-я редакция методики разослана на рассмотрение в ряд организаций. После анализа замечаний планируется выпуск окончательной редакции, где кроме всего прочего предполагается представить примеры расчета.

ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ ВОЛНЫ ПРОРЫВА ДЛЯ ЗШО И КАСКАДОВ ГЭС

*Климович В.И., доктор физ.-мат. наук, Прокофьев В.А., кандидат
техн. наук (ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)*

Расчёт параметров волны прорыва и зон возможного затопления является одной из важнейших составных частей Декларации безопасности гидротехнического сооружения будь то плотина ГЭС или золошлакоотвал (ЗШО) ТЭС. По данным Бюллетеня комиссии по большим плотинам № 111 [1] в настоящее время в мире насчитывается несколько десятков программных комплексов для моделирования гидродинамики прорывного потока. Большинство из них построено на базе одномерных и квазидвумерных (для разветвлённых русел) описаний волны прорыва. Лишь небольшая часть (до 20%) отмеченных в этом документе программных комплексов использует двумерную (плановую) модель потока. Отметим, что российские разработки [2-4] в представленном списке программных продуктов отсутствуют. На российском рынке в настоящее время представлены программные комплексы Mike11, Mike21, Dux10 и другие. Однако ориентация сугубо на зарубежные программные разработки, на наш взгляд, - путь бесперспективный, так как, несмотря на развитый графический интерфейс и удобство использования, зарубежные программные комплексы трудно поддаются модификации и далеко не всегда проходят необходимый набор тестов.

К настоящему времени в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева» разработаны несколько программных продуктов для расчёта параметров волны прорыва и зон возможного затопления применительно к декларированию безопасности плотин ГЭС, каскадов плотин, ЗШО. Прежде чем переходить к примерам выполненных во ВНИИГ расчётов параметров волны прорыва, остановимся на основных особенностях расчётных методик.

Первая из них построена на основе одномерных уравнений Сен-Венана и использовании метода сквозного счёта (без выделения разрывов). Следует отметить, что, несмотря на кажущуюся простоту, даже в такой постановке существуют определённые трудности, например обеспечение консервативности численного алгоритма, расчёт распространения волны прорыва по «сухому руслу», в частности при аварии на ЗШО. По этой причине до сих пор и в российских журналах (например, «Гидротехническое строительство»), и в зару-

бежных (например, «Journal of Hydraulic Research») появляется ежегодно 3 – 5 статей, посвящённых такой постановке задачи и решению перечисленных выше проблем.

Расчёт параметров волны прорыва как в одномерной, так и в двумерной постановке требует определения гидрографа излива, что связано с моделированием динамики размыва прорана в земляных плотинах и дамбах обвалования ЗШО. Эта задача усложняется тем, что в процессе развития прорана происходит интенсивное обрушение его откосов одновременно с понижением отметок дна прорана. Она может быть решена, например, на основе эмпирических зависимостей для динамики геометрии прорана и гидрографа излива [1,5]. Однако натурные данные по авариям, особенно на ЗШО, не обладают достаточной полнотой, что не позволяет построить по ним надёжные эмпирические формулы. Практически нет натуральных данных по динамике развития прорана: указываются в основном его размеры на момент завершения аварии. Поэтому в разработанном во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» программном комплексе реализованы две возможности:

применение эмпирических формул для динамики геометрии прорана и гидрографа излива (в современной литературе предлагается несколько формул, отличающихся и структурой, и коэффициентами, никак не учитывающих, как правило, свойства материала грунтовой плотины).

расчет динамики геометрии прорана на основе решения уравнения конвективно-диффузионного переноса частиц грунта с учетом неравномерности вертикального профиля мутности. При этом предполагается, что размывающая способность потока (расход частиц, поднимаемых со дна) такая же, как в потоке, который находится в насыщенном состоянии. В этой методике используется простейший алгоритм учёта обрушения «нависающих» участков береговых откосов прорана [6]. Отметим, что при таком подходе не наблюдается мгновенного (нефизического) выпадения частиц грунта в областях, где их концентрация не соответствует транспортирующей способности потока.

Вынос золошлакового материала (ЗШМ) из ЗШО и распределение его на окружающей местности моделируется на основе уравнения переноса с учётом осаждения частиц ЗШМ и неравномерного профиля его концентрации по глубине аналогично моделированию переноса частиц грунта. В данной методике предусмотрена также возможность задания на выходе из прорана концентрации ЗШМ, соответствующей транспортирующей способности потока.

Одномерная расчётная методика реализована в виде программного комплекса в стиле MS Windows и обладает встроенной базой данных гидротехнических объектов, где хранится вся необходимая для расчёта волны прорыва информация. В базе данных реализован динамический контроль вводимой информации, её наглядное графическое представление. В процессе расчёта пользователь может отслеживать продольные профили дна и свободной поверхности прорывного потока, а также изменение геометрии выбранного сечения (в отдельных «окнах»). Кроме того, программный комплекс имеет встроенный графический постпроцессор, позволяющий следить за динамикой расходов, скоростей потока, отметок, концентраций взвешенных частиц (грунта, ЗШМ) в потоке и т.д. Пользователь имеет возможность строить и выводить на печать карты глубин затопления местности и отложений ЗШМ при аварии на ЗШО, а также зависимость от времени расходов и скоростей потока в контрольных точках на трассе распространения волны прорыва, необходимую для расчёта ущербов, причинённых гидродинамической аварией.

Вторая расчётная методика построена на основе двумерных (плановых) уравнений мелкой воды и переноса частиц. Такая постановка задачи требуется, если на трассе распространения волны прорыва нет чётко выраженного русла, или если поперечные размеры потока сопоставимы с длиной зоны затопления. В настоящее время плановая модель реализована в виде двух программных комплексов с использованием следующих численных алгоритмов:

на основе схемы Бима-Уорминга на совмещённой разностной сетке с использованием преобразования Roe [7]; последнее обеспечивает консервативность схемы по массе и импульсу. Применение расщепления дифференциальных операторов по характеристикам делает этот алгоритм достаточно устойчивым;

на основе дивергентной записи системы уравнений Сен-Венана и метода контрольного объёма на разнесённой сетке. Благодаря специальной записи дискретных аналогов в этом методе также удалось полностью исключить появление нефизических осцилляций в районе разрывов (фронтов волн, гидравлических прыжков) и в то же время сохранить высокую точность дискретизации, которую даёт разнесённая сетка.

Оба алгоритма — неявные, что обеспечивает возможность расчетов с числом Куранта в диапазоне от 0,5 до 1,5. Для решения дискретных аналогов в обоих методах применяется метод частичной факторизации [8] и блочные прогонки по двум направлениям, причём итерации внутри отдельных шагов по времени не используются. Этим

достигается достаточное быстрое действие алгоритмов на сетках размерностью до 1000×1000 узлов. Оба алгоритма работоспособны при расчёте распространения волны прорыва по сухому руслу, для чего в них были использованы специальные условия отключения участков сухого дна.

Важное место в разработке программных комплексов для расчёта параметров волны прорыва занимает тестирование алгоритмов. Для алгоритмов, допускающих получение разрывных решений, такое тестирование играет первостепенную роль. Как одномерный, так и оба двумерных алгоритма были протестированы:

на известных аналитических решениях задачи;

на результатах экспериментов;

по имеющимся натурным данным;

путём сопоставления с результатами расчётов других авторов;

сопоставлением результатов расчётов по двум разработанным в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» двумерным алгоритмам.

В качестве примера на рис. 1 представлено сопоставление результатов численных расчётов с данными экспериментов в прямоугольном лотке шириной 1,22 м и длиной 122 м с постоянным уклоном 0,005, приведёнными в работе [9]. В середине лотка ставилась перегородка, а верхняя часть лотка заполнялась водой. При этом глубина воды у перегородки $h_1 = 0,305$ м, а в начале лотка глубина нулевая. Нижняя часть лотка до удаления перегородки была сухой. Эксперименты проводились при коэффициентах шероховатости облицовки лотка $n = 0,009$ и $n = 0,05$. При мгновенном удалении перегородки производились измерения отметок воды в точках $X = -100$ и $X = 0$ ($X = s/h_1 s$ — продольная координата, отсчитываемая от перегородки). На рис. 1 показано также сравнение полученных численных результатов с данными расчётов [9]. Приведённое сопоставление показывает хорошее согласование численных результатов как с экспериментальными данными, так и с данными расчётов из работы [9].

Для тестирования использованной в расчётной методике модели деформации дна прорана было проведено также сопоставление результатов расчётов с данными экспериментальных исследований по размыву грунтовых плотин [10]. Эксперимент проводился в стеклянном прямоугольном лотке без уклона дна шириной 0,1 м, соединённым с безнапорным баком. Модель размываемой плотины высотой 0,4 м и шириной по гребню 0,2 м имела откосы с уклоном 1:2 и была отсыпана из песка с диаметром частиц $d = 0,1 \div 0,5$ мм. Уровень воды в начальный момент времени соответствовал отметке

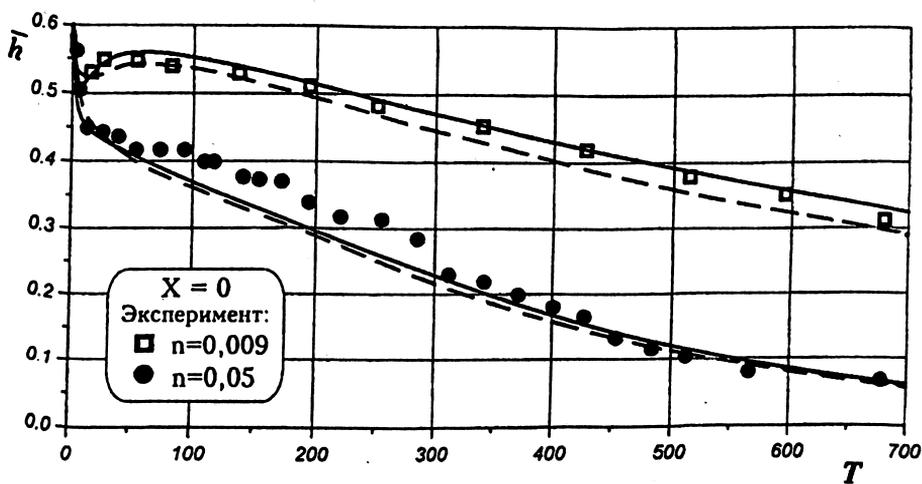
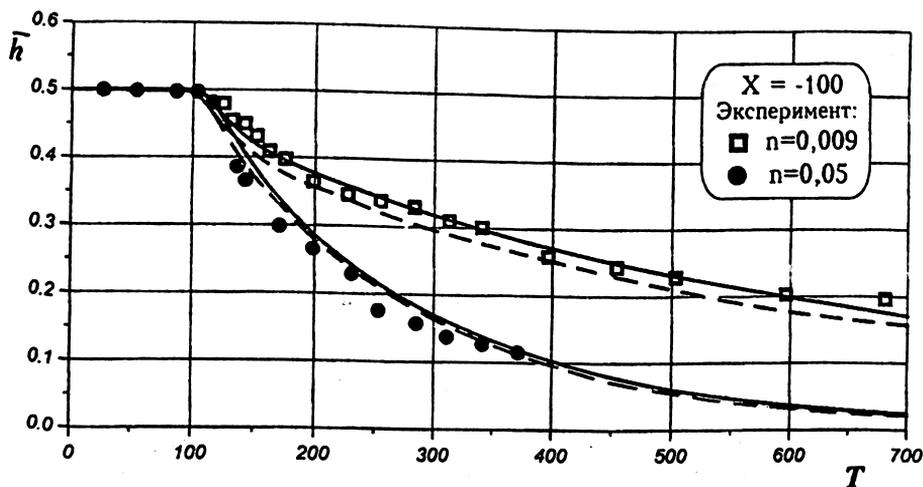


Рис.1. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными для наклонного лотка при различной шероховатости:

— расчет — — — расчетные данные [9]

гребня плотины, а в течение эксперимента производилась подача воды в верхний бьеф (бак) с расходом 2л/с. В расчёте был принят средний диаметр частиц грунта $d=0,3$ мм, коэффициент шероховатости для песка задавался равным $n=0,0104$, а для стекла — $n=0,01$. Сопоставление экспериментальных временных зависимостей из работы [10] с результатами расчёта для отметки гребня плотины $Z_{ГР}$, отметки свободной поверхности в верхнем бьефе $Z_{ВБ}$ и расхода через плотину Q представлено на рис. 2. Эти зависимости приведены

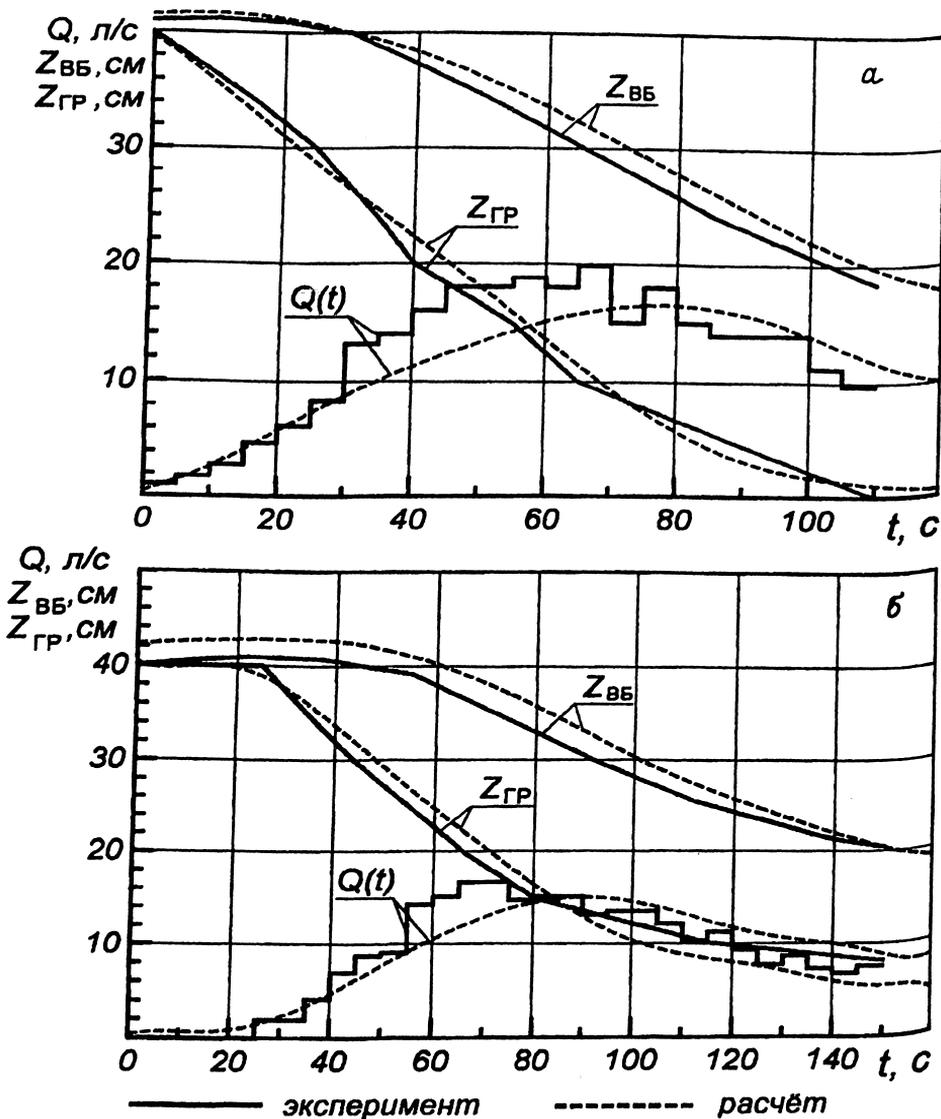


Рис. 2. Изменение во времени отметки гребня плотины ($Z_{\text{гр}}$), отметки свободной поверхности в верхнем бьефе ($Z_{\text{вб}}$) и расхода через плотину (Q): а) $d=0,3\text{ мм}$; б) $d=1,5\text{ мм}$. Экспериментальные данные взяты из работы П.М. Богославчика и И.М. Филипповича.

к одной точке, соответствующей времени начала изменения отметки гребня. Помимо хорошего согласования приведённых на рис. 2 экспериментальных и численных результатов, наблюдалось и согласование физической картины размыва плотины в расчёте и в эк-

сперименте [10]: вначале размывается низовой откос — при этом профиль плотины переходит к «треугольному» (рис. 3), затем начинается интенсивное снижение отметки гребня плотины, а форма плотины в процессе размыва остаётся близкой к форме водослива практического профиля. Конечно, данный эксперимент, в котором ширина прорана ограничена стенками лотка, не отражает в полной мере наблюдаемую в натуре картину развития прорана. Однако он подтверждает перспективность предлагаемой модели трансформации дна прорана бурным потоком.

Результаты решения тестовых задач, полученные с помощью описанных выше двумерных алгоритмов, практически совпадают между собой. Некоторые из них представлены на рис.4 — 5. На рис. 4 показано распространение волны прорыва через прямоугольный проран конечной ширины, причём до начала аварии глубина потока в верхнем и нижнем бьефах составляла, соответственно, 10 м и 0,001 м (трение отсутствует). Подобная задача описана в работе [11], там же приведена геометрия плотины и прорана. Однако авторам этой работы удалось получить устойчивое решение задачи при отношении глубин верхнего и нижнего бьефов не более 10^3 , в то время как оба разработанных алгоритма работоспособны при отношении глубин 10^6 и более, т.е. волна может распространяться по практически сухому руслу. На рис. 5 показаны результаты моделирования взаимодействия бурного потока (на входной границе $Fr=3$) с ромбовидным препятствием, расположенным в канале конечной ширины. Эта стационарная задача решалась методом установления по времени. Хорошо видны косые гидравлические прыжки, причём полученная картина полностью совпадает с полученным в [12] профилем свободной поверхности.

Среди конкретных объектов, для которых во ВНИИГ в рамках разработки Деклараций безопасности было выполнено моделирование параметров волны прорыва и зоны возможного затопления, можно выделить:

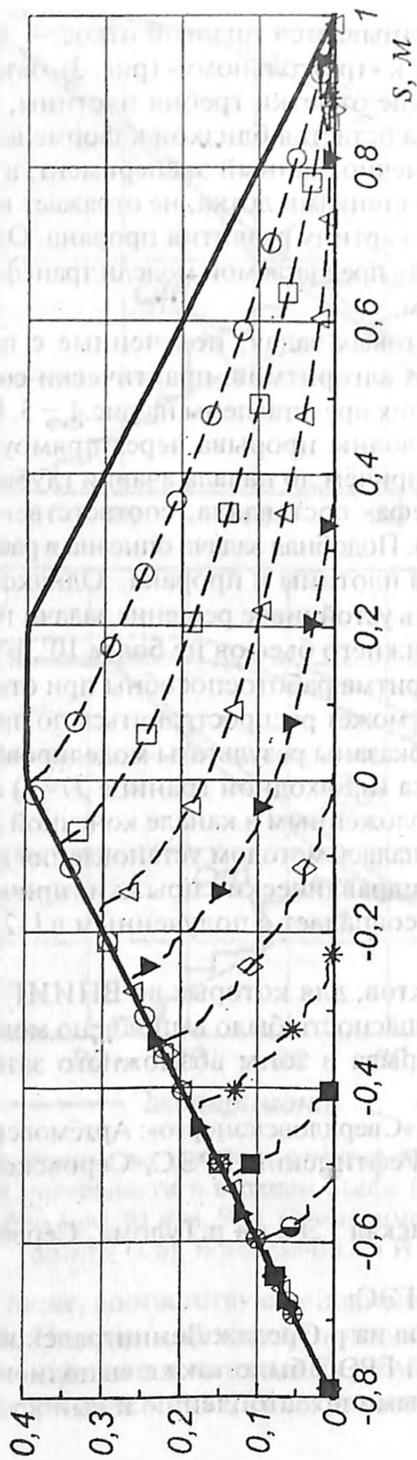
ряд ЗШО, относящихся к «Свердловскэнерго»: Артёмовской ТЭЦ, Нижне-Туринской ГРЭС, Рефтинский ГРЭС, Серовской ГРЭС, Новосвердловской ТЭЦ;

объекты «Колэнерго»: каскад ГЭС на р.Тулома, Серебрянский каскад ГЭС на р.Воронья;

плотина Нижегородской ГЭС;

каскад из пяти гидроузлов на р.Оредеж Ленинградской обл.

Для ЗШО №2 Серовской ГРЭС было также выполнено сопоставление с натурными данными по затоплению и выносу ЗШМ на



○ - t , □ - $t + 10с$,
 △ - $t + 20с$, ▼ - $t + 30с$, ◇ - $t + 40с$, * - $t + 50с$, ■ - $t + 60с$, ● - $t + 70с$
 (t - время начала изменения отметки гребня).

Рис. 3. Динамика профиля размываемой плотины.

прилегающую местность. Авария на этом ЗШО произошла в результате внезапной просадки гребня дамбы из-за неисправности отводящего коллектора. Хорошее согласование расчетных и натурных данных [13] подтвердило применимость разработанной расчётной схемы.

На рис.6 в качестве примера приведены границы зоны и глубины затопления для различных моментов времени после начала аварии, полученные в результате моделирования прорыва дамбы ЗШО Новосвердловской ТЭЦ (ЗШО находится на рисунках в левом нижнем углу). Поперечное растекание потока в точке с координатами $x=0$, $y=0,5$ км и $x=0,75$, $y=1,0$ км (момент времени 180 мин) обусловлено наличием линейных препятствий (дорога, дамба) на пути потока.

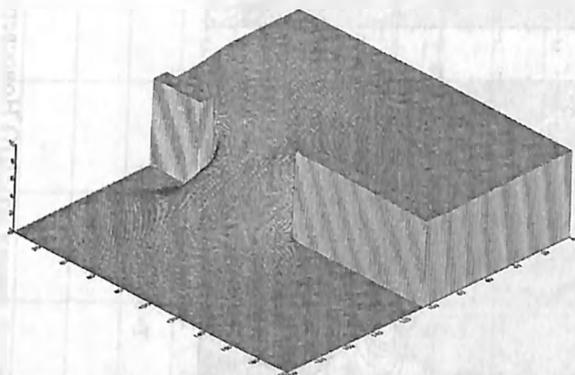


Рис. 4. Вид свободной поверхности при обтекании сверхкритическим потоком ($Fr=3$) симметричного ромбовидного тела.

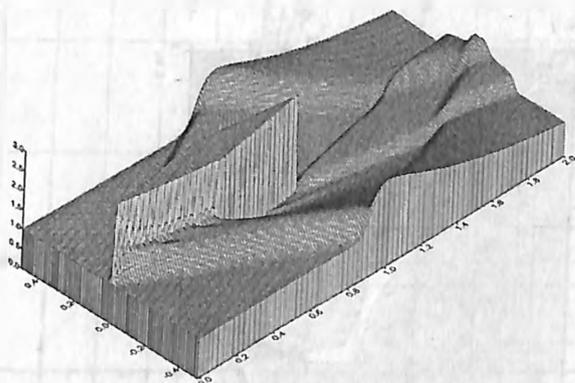


Рис. 5. Вид свободной поверхности при распространении волны через прямоугольный проран; $t=6c$.

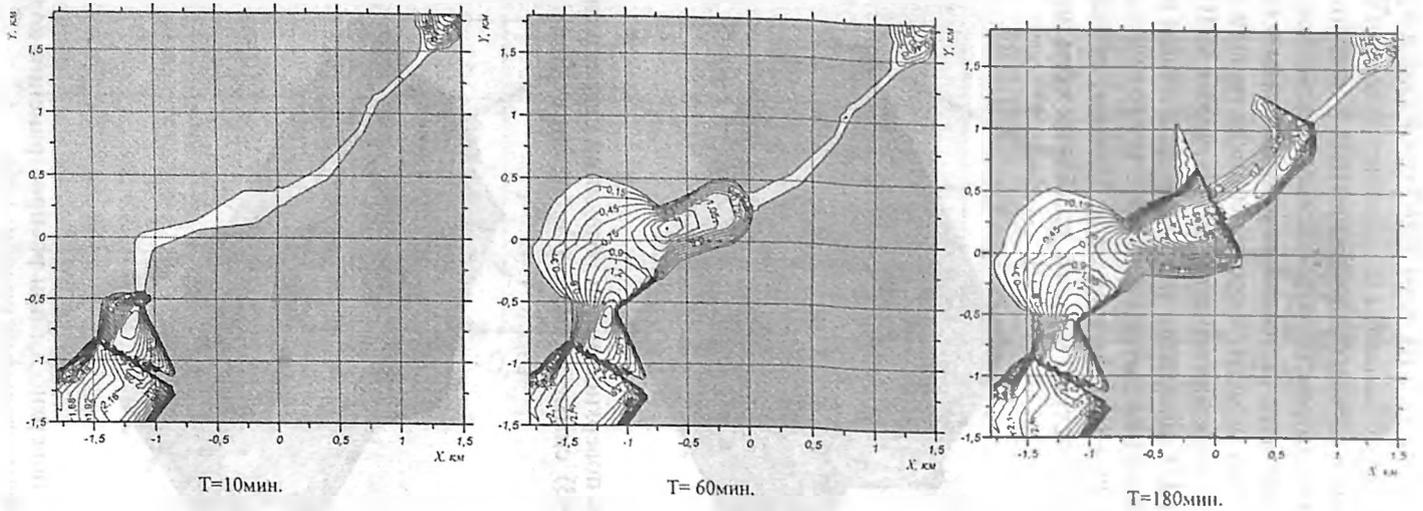


Рис. 6. Развитие гидродинамической аварии на ЗШО Новосвердловской ТЭЦ (цифры на изолиниях соответствуют глубинам затопления, м).

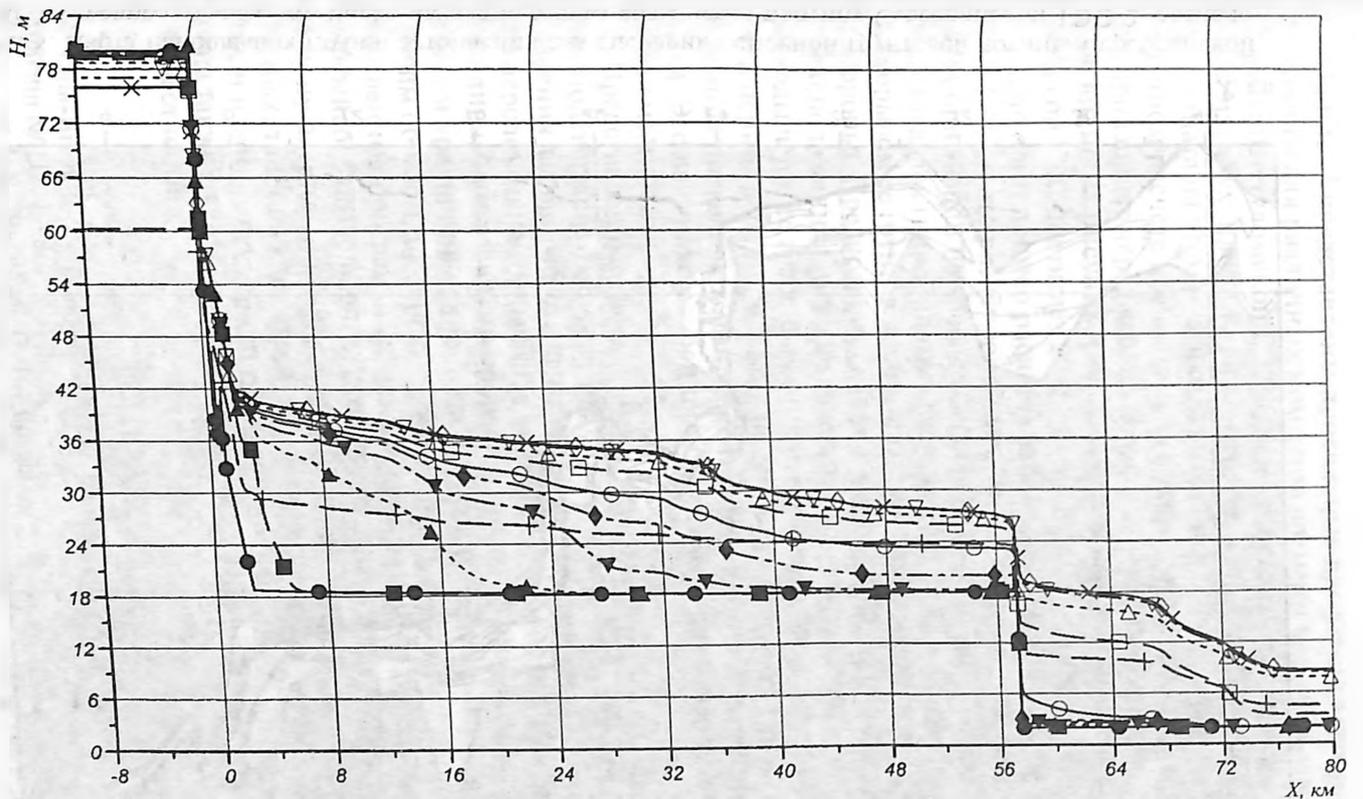


Рис. 7. Верхне-Тулумская ГЭС. Продольные профили свободной поверхности в моменты времени: 0(●); 15(■); 120(▲); 270(▼); 420(◆); 570(○); 840(□); 1140(△); 1680(▽); 2280(◇); 2880(×); 10080(+)[мин].

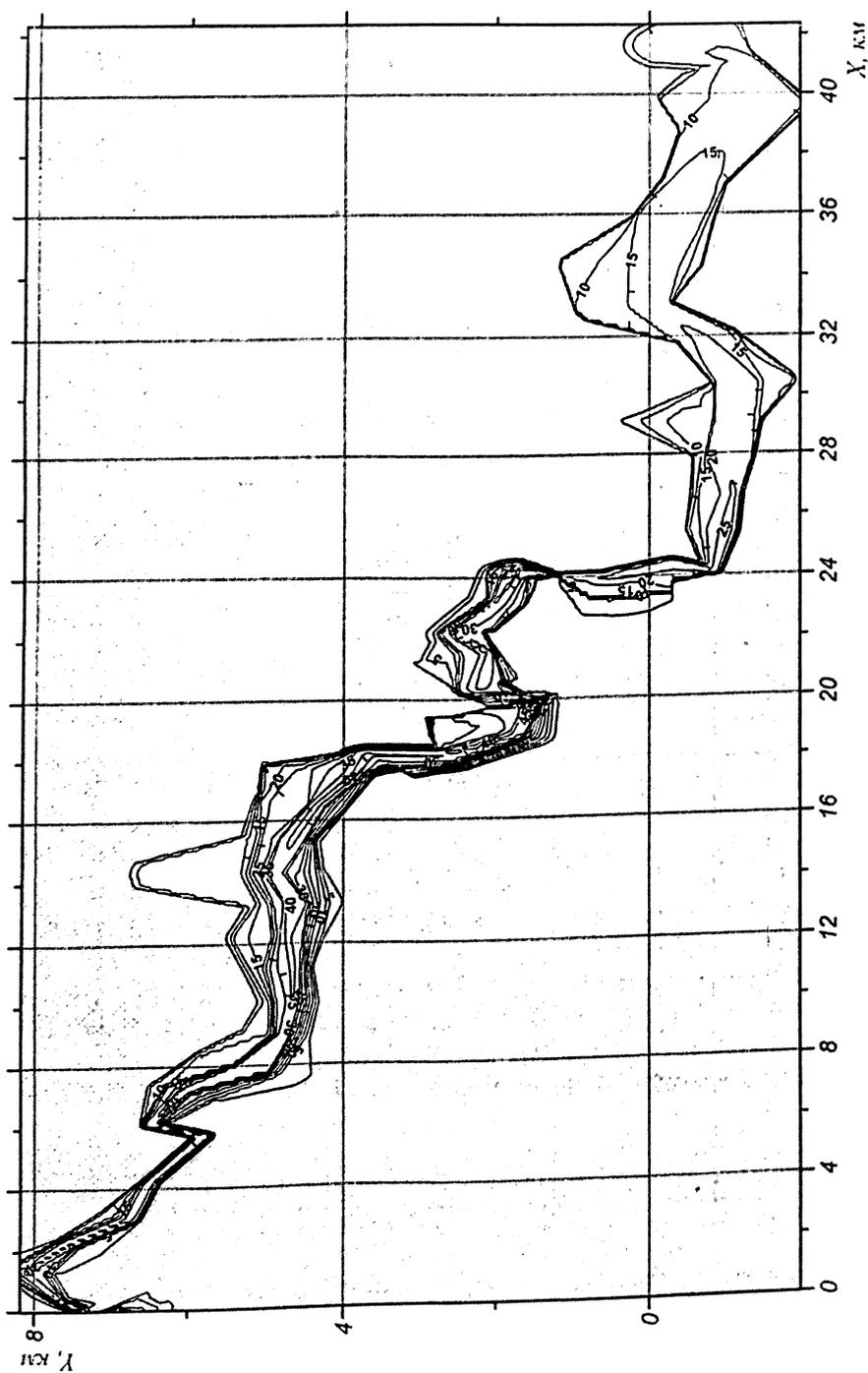


Рис. 8. Карта наибольших глубин затопления для сценария основной грунтовой лотины Серебрянской ГЭС-1 (предполагалось, что после начала перелива воды через плотину Серебрянской ГЭС-2, расположенной ниже по течению, произойдет и прорыв плотины Серебрянской ГЭС-2).

На рис. 7 представлены продольные профили свободной поверхности для различных моментов времени при аварии на плотине Верхнетуломской ГЭС. Эта плотина является верхней в каскаде из двух плотин: ей соответствует нулевая продольная координата на этом рисунке, а второй плотине - координата 58 км. В данном расчёте предполагалось, что разрушение второй плотины произойдёт через час после начала перелива через её гребень. Как видно из рисунка, подъём воды в нижнем бьефе Верхнетуломской ГЭС достигает 20 м.

Ещё один пример расчёта гидродинамической аварии на каскаде ГЭС — это расчёт зоны затопления и параметров волны прорыва при аварии на каскаде Серебрянских ГЭС на р. Воронья. Рассматривалась гидродинамическая авария на Серебрянской ГЭС-1 с прорывом её грунтовой плотины, перегораживающей старое русло р. Воронья. Предполагалось также, что плотина Серебрянской ГЭС-2, расположенная ниже по течению, будет разрушена при переливе воды через её гребень. Карта наибольших глубин затопления за весь период аварии показана на рис. 8. На отдельных участках эти глубины превышают 30 м, однако ширина зоны затопления невелика. Это связано с особенностями рельефа прилегающей к р. Воронья местности.

Представленные здесь примеры тестовых и практических расчётов подтверждают эффективность разработанных алгоритмов для решения задачи расчета параметров волны прорыва. Показана также перспективность перехода от чисто эмпирических зависимостей для динамики развития прорыва к полуэмпирическим методам с учётом уравнений транспорта наносов и обрушения его откосов. Таким образом, на основе современных подходов разработаны отечественные программные комплексы с развитым графическим интерфейсом, позволяющие рассчитывать параметры волны прорыва и зону затопления при аварии как на отдельных плотинах или дамбах, так и на каскадах ГЭС; как в рамках одномерной модели, так и в рамках двумерной плановой модели. Для ЗШО предусмотрена также возможность расчета выноса ЗШМ и распределения его на местности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dam-Break Flood Analysis*. ICOLD, Committee on hydraulics for dams. Bulletin № 111. 1998.
2. Атавин А.А., Васильев О.Ф., Воеводин А.Ф. и др. Численные методы решения одномерных задач гидравлики. // *Водные ресурсы*. 1983. №4.

3. **Историк Б.Л.** Численное исследование резко нестационарных течений в открытых руслах. Сборник научных трудов Гидропроекта «Гидравлика и фильтрация». М.: 1979.
4. **Комаров А.А.** Расчёт параметров волн прорыва, основанный на распаде произвольного разрыва.// Гидротехническое строительство. 1994. №7.
5. **Прудовский А.М.** Образование прорана при прорыве земляной плотины. Научно-технический и производственный сборник «Безопасность энергетических сооружений». М.: НИИЭС. Вып.2-3. 1998.
6. **Климович В.И., Прокофьев В.А.** Численное решение одномерной задачи расчёта параметров волны прорыва с учётом размыва прорана при аварии на ГТС.// Известия ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева. Сб. научных трудов. 2000. Т.236.
7. **Жа А.К., Akiyama J., Ura M.** A fully conservative Beam and Warming scheme for transient open channel flows.// Journal of Hydraulic Research. 1996. Vol. 34. №5.
8. **Флетчер К.** Вычислительные методы в динамике жидкостей. В 2-х томах: Пер. с англ.- М.: Мир. 1991.
9. **Zhang H., Youssef H., Long H.D., Kahawita R.** A 1-D numerical model applied to dam break flows on dry beds.// Journal of Hydraulic Research. 1992. Vol. 30. №2.
10. **Богославчик П.М., Филиппович И.М.** Динамика размыва плотины из местных материалов при переливе воды.//Известия ВУЗов, «Энергетика», Минск: 1982. №3.
11. **R.J.Fennema, M.H.Chaudhry.** Implicit methods for two-dimensional unsteady free-surface flows.// Journal of Hydraulic Research. 1989. Vol. 27. №3.
12. **J.Y.Yang, C.A.Hsu.** Computations of free surface flows. Part 3: Steady supercritical flow using a generalized lagrangian method.// Journal of Hydraulic Research. 1996. Vol. 34. №1.
13. **V.I.Klimovich., V.A.Prokofyev.** Numerical Simulation of Inrush Surge Propagation and Embankment Dam Washout at Hydrotechnical Structure Failure.//99. International Conference on Dam Safety and Monitoring. 1999. China.

О СЕРТИФИКАЦИИ МЕТОДИК И ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ОБОСНОВАНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС

*Радкевич Д.Б., директор НТЦ энергонадзора Минэнерго РФ,
Белостоцкий А.М., доктор техн. наук,
Школьников С.Я. кандидат техн. наук (АО НИИЭС)*

Оценка безопасности проектируемых, строящихся и эксплуатируемых гидротехнических сооружений - сложная многофакторная задача, связанная с нетривиальными расчетно-теоретическими исследованиями и натурными наблюдениями за сооружением, верхним и нижним бьефами и основанием, их анализом и прогнозом происходящих в этих средах процессов, в том числе при экстремальных редко повторяющихся воздействиях и при различных управляющих решениях. Для ее решения приходится привлекать достаточно сложные расчетные методики и современные информационные технологии. При проведении соответствующих исследований широко применяются программные продукты: вычислительные программы для расчета напряженно-деформированного состояния и гидравлических процессов, гидрологических прогнозов; системы мониторинга сооружения и окружающей среды; экспертные системы, например системы количественной оценки безопасности (риска).

В настоящее время не существует общепринятой формальной системы оценки методик и программных продуктов, используемых в задачах безопасности ГТС, которая позволила бы оценить допустимость их применимости к рассматриваемому объекту (и даже объективно сравнить какая из методик и программ предпочтительнее для данного объекта). Определенный позитивный опыт по аналогичной оценке накоплен в последние 10 лет в атомной энергетике, для расчетно-теоретического обоснования объектов которой допускается использовать лишь методики и программы, прошедшие регламентированные процедуры верификации, экспертизы и аттестации в Госатомнадзоре РФ. Отсутствие подобной системы в гидротехнике ведет к тому, что в ряде случаев применяются нелицензионные, недоработанные или ненадежные методики и программы, или же область их применимости необоснованно расширяется. Так, при декларировании безопасности гидротехнических сооружений отмечены случаи неоправданного использования упрощенных методик, предназначенных лишь для первоначальных оценок, причем иногда это происходило без согласия авторов методик. Ситуация усугубляется

тем, что соответствующие расчеты проводились инженерами-гидротехниками общего профиля, не являвшимися специалистами в узких вопросах, составлявших предмет исследования, и не способных критически оценить полученные результаты. По-видимому, назрела необходимость и в гидротехнике ввести систему аттестации или сертификации методик и программ, что позволит повысить достоверность их результатов и, как следствие, надежность и безопасность исследуемых сооружений. Заметим, что в некоторых случаях расчетные методики включаются в нормативные документы (СНиП). Возможно, такая степень узаконивания методик чрезмерна и препятствует использованию конкурирующих подходов даже в случаях, когда последние имеют очевидные преимущества.

Для методик и программ для исследования напряженно-деформированного состояния и гидравлических процессов сложность проблемы заключается в том, что в настоящее время не разработана до конца теория численных методов механики сплошных сред, особенно для часто встречающихся в инженерной практике нелинейных задач. Кроме того, во многих случаях решение полных уравнений (если только они известны) требует чрезвычайно больших усилий и ресурсов, применимость же упрощенных математических моделей также требует обоснования. Обоснование численных и упрощенных методов для нелинейных задач строится на сравнении полученных при их помощи приближенных решений с данными аналитических решений (в тех частных случаях, когда они могут быть найдены), лабораторных опытов и натуральных наблюдений. Кроме того, численные решения должны отвечать некоторым «естественным» свойствам исследуемого объекта: например, сохранять в ходе численных экспериментов без возмущающих воздействий положение покоя, выполнять законы сохранения массы, импульса и энергии (для упрощенных математических теорий может оказаться достаточным выполнение некоторых законов сохранения) и т.д.

Конкретизируем изложенные общие соображения на примерах двух важных задач, адекватное и оперативное решение которых невозможно без привлечения соответствующих современных программных продуктов: мониторинг сооружений и прогноз последствий прорыва напорного фронта гидроузлов.

Мониторинг сооружений. Первый шаг в формулировании требований к соответствующим компьютерным информационно-диагностическим системам сделан в первой редакции Государственного стандарта «Системы мониторинга гидротехнических сооружений. Основные требования к техническим и программным средствам».

выпущенного НТЦ Энергонадзора. К программным средствам мониторинга, помимо базового программного обеспечения, относятся программное обеспечение автоматизированных измерений диагностических показателей, базы данных (банк данных) мониторинговой информации со средствами ее обслуживания и средства диагностирования, оценки и прогноза состояния сооружений. Предлагаемый состав технических и программных средств мониторинга (в зависимости от класса сооружений) приведен в таблице 1.

Прогноз последствий прорыва напорного фронта гидроузлов. Существующие в настоящее время методики прогноза последствий прорыва напорного фронта гидроузлов можно условно разделить на 3 типа:

плановые (двумерные) методики, основанные на численном интегрировании уравнений Сен-Венана;

одномерные численные методики, основанные на численном интегрировании уравнений Сен-Венана, Буссинеска (которые, по мнению ряда специалистов, позволяют прогнозировать волновые течения с ондулирующим бором) или на упрощенных уравнениях диффузионной и кинематической волн;

методики, основанные на обобщении результатов аналитических решений (в тех ситуациях, когда они возможны), проведенных ранее численных экспериментов, лабораторных опытов и натурных наблюдений и позволяющие проведение соответствующих оценок с использованием графиков, номограмм и таблиц, содержащих информацию предварительных исследований; такие методики могут быть доработаны до уровня электронных справочников для ПЭВМ, причем соответствующие графики, номограммы и таблицы задаются в качестве исходных данных задачи.

С нашей точки зрения, при расчетах прорывных паводков для больших плотин по классификации СИГБ (при напорах, превышающих 15 м) должны использоваться методики, численно реализующие уравнения Сен-Венана или более точные математические модели. Для таких гидроузлов методики 3-го типа могут применяться лишь в качестве вспомогательных, для контроля возможных ошибок. Для гидроузлов с напором менее 15 м применение методик 3-го типа в качестве основных допустимо при условии отсутствия в зоне возможного затопления постоянного населения и ценных народнохозяйственных объектов. Разумеется, в этих случаях необходимо следить соответствует ли применяемая методика особенностям исследуемого объекта. Так, при описании графоаналитической методики оценки параметров волны прорыва [1] в качестве примера приво-

дится расчет затопления объекта, расположенного на широкой пойме. Один из определяющих параметров методики - показатель степени обобщенного параболического русла. Автор рекомендует задавать этот параметр на глаз, оценивая на какое из обобщенных параболических русел со степенями от 1 до 2,5, нарисованных на чертеже, похоже русло реки на исследуемом участке, хотя все эти русла имеют выпуклую форму, не позволяющую аппроксимировать пойму. Разумеется, такое произвольное использование графоаналитических методик недопустимо.

Для оценки параметров прорывных паводков в дальней от гидроузла зоне допустимо использование упрощенных математических моделей явления, основанных на уравнениях диффузионной и кинематической волн. Заметим, что использование этих методик не ведет к большому выигрышу в объеме подготовительных работ и в машинном времени и, с нашей точки зрения, их целесообразно использовать, в основном, в качестве вспомогательных для оценки правдоподобия полученных результатов и трактовки эффектов, легко объяснимых для этих математических моделей, но оказывающихся неожиданными при рассмотрении более полных моделей. Так, на большом удалении от аварийного гидроузла глубина затопления перестает зависеть от степени разрушения и определяется объемом водохранилища и расстоянием от места разлива [2]. Этот результат трудно предвидеть, рассматривая непосредственно уравнения Сен-Венана (он проявляется лишь при анализе результатов гидравлических расчетов), но он может быть легко получен из рассмотрения свойств уравнения кинематической волны [3]; решения же уравнений Сен-Венана и кинематической волны вдали от створа истечения в определенном смысле становятся близки друг другу [4].

Для методик, реализующих математические модели сплошной среды, желательно было бы сформулировать систему стандартных тестов и исключить использование методик и программ, неудовлетворительно ведущих себя при решении этих тестовых примеров. Видимо, набор таких тестов должен быть внесен в определенный нормативный документ. Заметим, однако, что для надежной работы программы должны подвергнуться тестированию и все включенные в нее граничные условия (в том числе внутренние, если таковые имеются); описание в заранее подготовленном нормативе всех таких тестов трудновыполнимо. Поэтому набор тестов для библиотеки граничных условий должен разрабатываться автором программы, а его адекватность и полнота подтверждаться авторитетными специалис-

Таблица 1

Состав средств мониторинга гидротехнических сооружений

Средства мониторинга		Класс сооружения		
		1	2	3
1.	Мониторинг	+	+	+
1.1.	правила мониторинга	+	+	+
1.2.	технические средства наблюдений	+	+	+
1.3.	компьютерные средства.	+	+	
2.	Средства наблюдений	+	+	+
2.1.	дистанционная измерительная аппаратура	+		
2.2.	не дистанционная измерительная аппаратура	+	+	+
2.3.	приспособления визуального осмотра сооружений.	+	+	+
3.	Компьютерные технические средства	+	+	
4.	Компьютерные программные средства	+	+	
4.1.	программное обеспечение автоматизированных измерений	+		
4.2.	базы данных (банк данных)	+	+	
4.3.	средства диагностирования, оценки состояния сооружений.	+		
5.	База (банк) данных	+	+	
5.1.	Информация о сооружениях гидроузла	+	+	
5.2.	Информация о предметах наблюдений	+	+	
5.3.	Результаты наблюдений	+	+	
5.4.	Информация диагностирования сооружений	+	+	
5.5.	Данные, формализующие отчетные материалы и форматирующие графическое оформление результатов измерений.	+		
6.	Интерфейс пользователя информации БД	+	+	
6.1.	Ввод, редактирование, корректировка информации БД.	+	+	
6.2.	Просмотр результатов измерений	+	+	
6.3.	Представление отобранной информации	+	+	
6.4.	Диагностирование состояния сооружений	+	+	
6.5.	Создание отчетных материалов	+		
7.	Программные средства диагностирования	+		
7.1.	Регрессионный анализ результатов наблюдений	+		
7.2.	Детерминистические модели работы сооружений	+		
7.3.	Оценка уровня безопасности	+	+	

тами-экспертами (возможно, членами соответствующей аттестационной комиссии). Аналогичные требования должны предъявляться к включенным в программы усовершенствованиям методик, учитывающих дополнительные физические эффекты.

В некоторых случаях авторы или распространители программных продуктов, ссылаясь на коммерческую тайну, скрывают научную методику, реализованную в этих продуктах. Применение таких программных продуктов в задачах оценки безопасности недопустимо: использованная методика должна быть подробно описана. При наличии в программе потенциальных некорректностей (например, при использовании одномерных уравнений Сен-Венана при расчетах русел, в которых расположены отмели, переходящие в ходе исследуемых процессов в острова) разработчики обязаны обратить на нее внимание в описании программы, причем пояснить каким путем преодолевается возникшая ситуация.

При сертификации аналитических и графо-аналитических методик (в том числе компьютерных справочников) должно предоставляться подробное описание, включающее используемые подходы, аналитические решения, данные расчетов, лабораторных опытов и натуральных наблюдений, позволяющее объективно оценить их область применимости. Не допускается применение методики за пределами ее области применимости (так, использование методики, разработанной для русел выпуклой формы, неприменимо для невыпуклых русел, например, русел с поймами).

Некоторые основные требования к методикам и программам моделирования и калибровки напряженно-деформированного состояния сооружения сформулированы в публикациях [5,6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев В.А. Методика оценки обстановки на промышленном предприятии при чрезвычайных ситуациях. Институт повышения квалификации государственных служащих. Учебно-методическое пособие. М.: 1993.
2. Историк Б.Л., Лятхер В.М. Распространение волны прорыва в призматическом русле. //Известия АН СССР, Механика жидкости и газа. 1975 г. № 1.
3. Школьников С.Я. Трансформация паводковых волн, распространяющихся по сухому руслу. //Гидротехническое строительство». 1999. № 7.
4. Школьников С.Я., Юзбеков Н.С. Трансформация прорывной волны на суходоле. «Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях». Обзорная информация ВИНТИ. М.: 1999 г. Вып.6.
5. Белостоцкий А.М. Численное моделирование комплексного

напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружений энергетических объектов. // Гидротехническое строительство. 1999. № 8. 6. Белостоцкий А.М., Белый М.В., Желанкин В.Г., Рассказов Л.Н. Разработка калиброванных математических моделей напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений (на примере склонов Загорской ГАЭС). В настоящем сборнике.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОРМАТИВНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Желанкин В.Г., кандидат техн. наук (АО НИИЭС)

Необходимость обеспечения безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений требует своевременной и объективной оценки их состояния. Часто на гидроузлах имеется достаточно большой объем информации, включающий натурные наблюдения, проектные проработки, данные о свойствах материалов и грунтов, сведения об изменениях в нагрузках. Для оценки надежности и безопасности сооружений с использованием этих данных может быть применен метод, объединяющий нормативные методики СНиП и вероятностные расчеты, выполненные с учетом реальных характеристик грунтов, материалов и действующих нагрузок. Одним из важных вопросов является определение критериев надежности и безопасности в зависимости от ответственности, стоимости сооружения, последствий ущерба и других факторов, которыми определяется класс сооружения. В нормах таким критерием является коэффициент надежности по ответственности сооружения γ_n , а учет изменчивости характеристик грунтов, материалов и нагрузок осуществляется с помощью соответствующих коэффициентов надежности и коэффициентов сочетаний. Таким образом, каждое эксплуатируемое сооружение имеет некоторый запас прочности, заложенный в проекте в соответствии с нормами. При этом неизвестно какова вероятностная мера риска разрушения данного сооружения и какой уровень обеспеченности предельно допустимых показателей состояния при эксплуатации для него должен быть установлен.

С целью сопоставления нормативных запасов и вероятностного уровня надежности автором ранее были проведены расчетные исследования грунтовых плотин с учетом статистической неоднородности характеристик и нагрузок по двум методикам: норматив-

ной и по вероятностной модели [1]. В результате была установлена взаимосвязь между нормативными коэффициентами и уровнем надежности B , которая представлена на графике рис. 1 и в таблице 1.

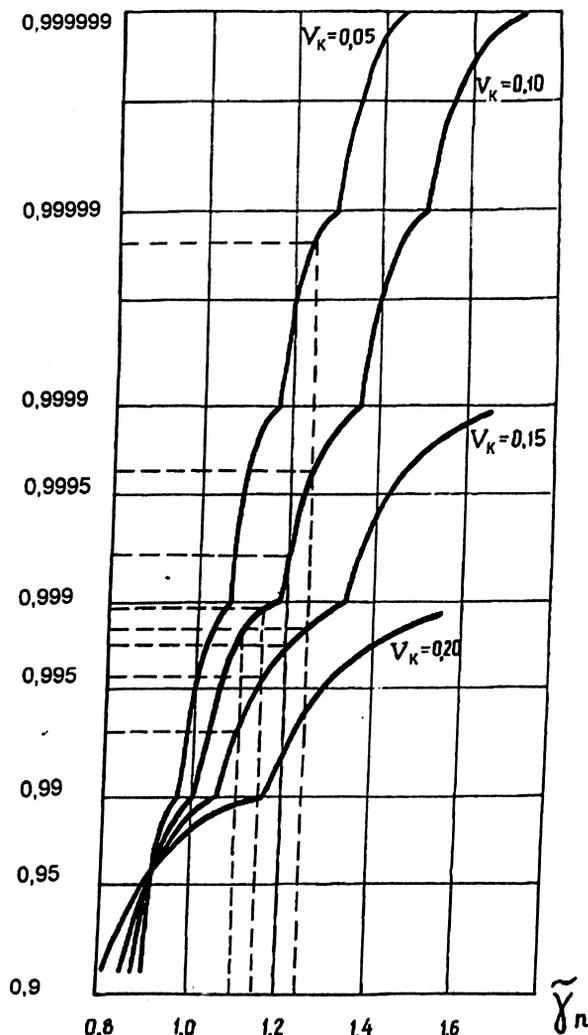


Рис.1. График зависимости уровня надежности по ответственности сооружения $B=f_{(V_K)}$ для разных коэффициентов вариации коэффициента запаса устойчивости K .

В данном случае под уровнем надежности понимается вероятность того, что сооружение не достигнет первого предельного состояния. В таблице 1 статистическая изменчивость материалов и нагрузок

учитывается интегральным параметром — коэффициентом вариации коэффициента устойчивости V_k , полученным на основе вероятностных расчетов. Кроме этого, приводятся необходимые для оценки вероятностного уровня надежности математическое ожидание коэффициента устойчивости M_k и характеристика безопасности Z_k , определяемая для нормированного значения функции Лапласа.

Таблица 1

Класс сооружений	Коэффициент надежности по ответственности (нормативный) γ_n	$V_k = 0,10$			$V_k = 0,15$			$V_k = 0,20$		
		M_k	Z_k	B	M_k	Z_k	B	M_k	Z_k	B
I	1,25	1,49	3,29	0,9995	1,97	3,29	0,9995	2,93	3,29	0,9995
II	1,20	1,43	3,01	0,9987	1,89	3,14	0,9992	2,82	3,23	0,9994
III	1,15	1,37	2,70	0,9965	1,81	2,98	0,9985	2,70	3,14	0,9992
IV	1,10	1,31	2,37	0,9911	1,73	2,82	0,9976	2,58	3,06	0,9989

Из графика и таблицы видно, что для сооружений одного класса, запроектированных в соответствии с нормами при одинаковом коэффициенте надежности, вероятностный уровень надежности может существенно отличаться в зависимости от изменчивости исходных данных. Несомненно необходимо, чтобы сооружения одного класса имели одинаковый уровень надежности, в связи с чем предлагается нормировать и устанавливать единое значение уровня надежности при коэффициенте вариации коэффициента устойчивости $V_k=0,1$, который, как показывают исследования, является практически самой нижней границей для грунтовых плотин, что обусловлено достаточно высоким разбросом в свойствах грунтов. На основе сопоставления эксплуатационных и нормативных запасов целесообразно принять для первого класса грунтовых плотин за критерий надежности уровень $B = 0,9995$, что соответствует риску разрушения $0,0005$, достаточно близкому к статистике аварий на крупных грунтовых сооружениях. Величина требуемых критериальных значений уровня надежности для сооружений других классов определяются из столбца ($V_k=0,10$) таблицы 1.

Особенную актуальность оперативная переоценка надежности приобретает для сооружений, характеристики материалов и геометрический профиль которых меняется в процессе эксплуатации. К таким сооружениям, в частности, относятся дамбы золошлакоотвалов.

В качестве примера проведена оценка надежности многоярусной дамбы золошлакоотвала высотой 24 м на суглинистом основании на основе расчета устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Конструкция дамбы представляет собой первич-

ную дамбу из суглинка с тремя ярусами наращивания, также выполненные из суглинка. Последний, четвертый ярус, выполнен из золошлакового материала с заложением откоса 1:1, что ниже принятого в проекте (рис. 2). Первоначально, по проекту, дамба относилась к четвертому классу ответственности. Впоследствии, в связи с увеличением строительной высоты, ее класс был повышен до третьего без конструктивных изменений профиля. Исходные данные для расчета по характеристикам грунтов и золошлаков, залегающих в основании и теле дамбы, определены на основе статистической обработки достаточно представительных данных о свойствах грунтов, приведенных в материалах РoTЭП [2].

Величины характеристик грунтов оказались распределены по закону, близкому к нормальному, и расчетные параметры этих законов приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ г р у н т а	Характеристики грунтов	Удельный вес скелета грунта $\gamma_{ск}$ (тс/м ³)			Угол внутреннего трения грунта φ (град)			Удельное сцепление грунта C (тс/м ²)		
		Статистические параметры								
	Вид Грунтов	$M(\gamma_{ск})$	$\sigma(\gamma_{ск})$	$V(\gamma_{ск})$	$M(\varphi)$	$\sigma(\varphi)$	$V(\varphi)$	$M(C)$	$\sigma(C)$	$V(C)$
1	Суглинок основания	1,58	0,0873	0,055	18,36	1,494	0,081	2,785	0,752	0,270
2	Суглинок дамбы	1,64	0,015	0,009	19,92	1,32	0,066	3,850	0,739	0,192
3	Золошлаковый материал	1,46	0,005	0,003	29,38	2,644	0,090	1,932	0,276	0,143

В таблице 2 приняты следующие обозначения: M — математическое ожидание; σ — среднеквадратическое отклонение; V — коэффициент вариации.

На основе этих данных были смоделированы выборки одинаковой длины статистического ряда по каждой характеристике и проведены расчеты устойчивости по методу статистического моделирования (Монте-Карло) с использованием программного комплекса SAFE, разработанного автором. Для статистического моделирования устойчивости откосов в программный комплекс встроена программа, разработанная на кафедре гидротехнических сооружений МГСУ с учетом фильтрационных сил методом Терцаги - Флорина.

При проведении расчетов ставилась задача определить положение кривой депрессии для случаев: нормальной эксплуатации, возможной аварийной ситуации (нарушении работы дренажа) и возможного первого предельного состояния - оползания откоса (при выходе из строя дренажа, повышении уровня прудка-отстойника

ЗШО). Расчеты устойчивости проводились при трех статистически осредненных возможных положениях кривой депрессии, соответствующих каждому случаю. Зона положений кривых депрессии приведена на рис. 2.

В результате вероятностных расчетов установлено, что величина коэффициента вариации коэффициента устойчивости составила $V_k = 0,095$. Величины математических ожиданий коэффициентов устойчивости, а также значения этих коэффициентов, рассчитанных по нормативной методике, и соответствующие им вероятностные уровни надежности приведены в таблице 3.

Таблица 3

№	Расчетные случаи	Коэффициенты устойчивости; M_k (в скобках - по нормативной методике)	Вероятностный уровень надежности	Требуемый критерий надежности
1	Нормальная эксплуатация	1,35 (1,12)	0,9968	0,9965
2	Нарушение работы дренажа	1,30 (1,06)	0,9925	0,9965
3	Выход из строя дренажа, повышение уровня прудка-отстойника ЗШО выше НПУ на 1 м.	1,27 (0,98)	0,9875	0,9965

Полученные кривые скольжения и изолинии коэффициентов устойчивости для первого и второго расчетных случаев приведены на рисунке на цветной вкладке.

Из таблицы 3 видно, что первый расчетный случай по уровню надежности достаточно близко соответствует критерию надежности для плотин третьего класса, хотя коэффициент устойчивости (1,12) оказался ниже требуемого нормативного значения (1,15) коэффициента надежности. Это объясняется высокими значениями коэффициентов вариации удельного сцепления грунтов, что привело к снижению расчетных значений сцепления, определяемых в соответствии с нормами при 95% обеспеченности. Для 2-го и 3-го случаев уровень надежности оказался существенно ниже требуемого критерия надежности для дамбы ЗШО, относящейся к III-му классу. Также значительно ниже нормативного значения (1,15) коэффициента надежности оказались коэффициенты устойчивости откоса (1,06 и 0,98). Таким образом, третий расчетный случай является недопустимым для сооружения данного класса. Предельно допустимое положение уровня кривой депрессии, контролируемое по имеющимся пьезометрам, следует установить для второго расчетного случая, при котором дамба имеет меньший уровень надежности, чем требуемый для III класса сооружений.

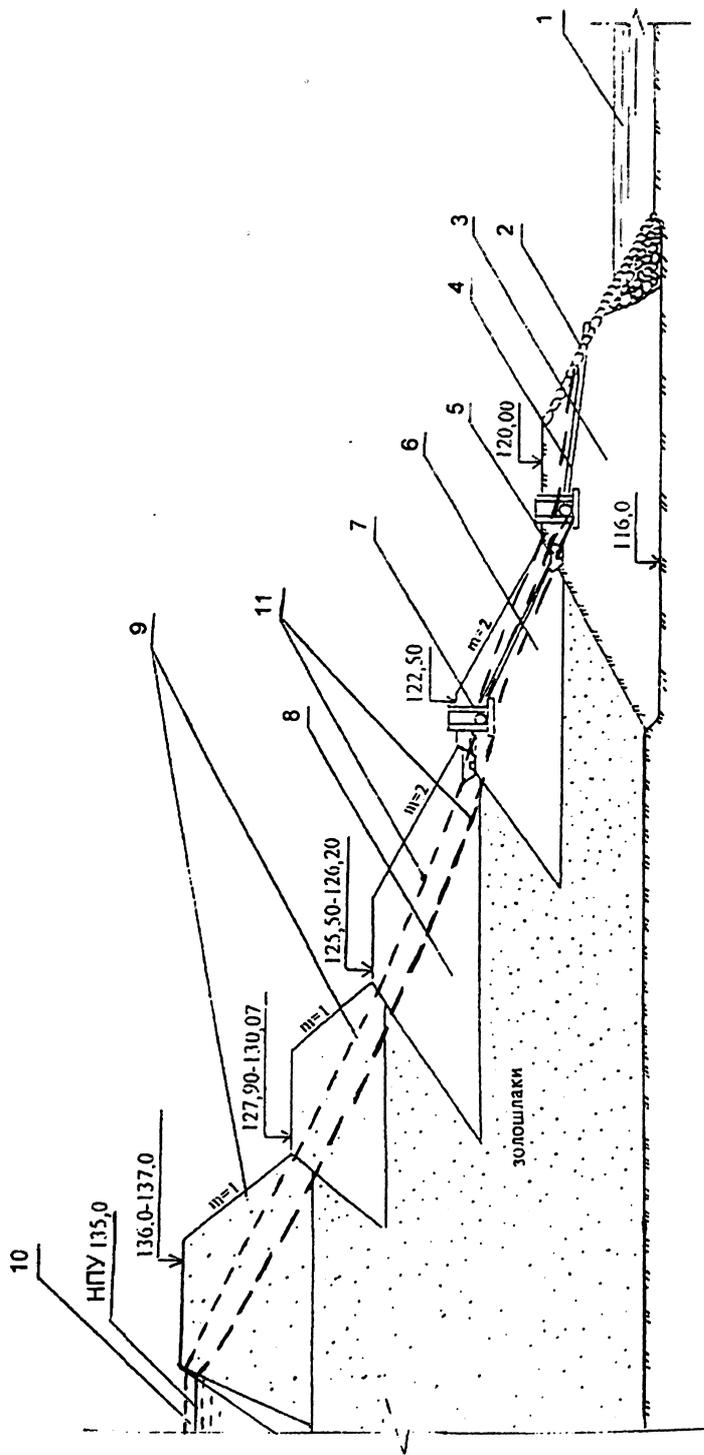


Рис. 2. Поперечное сечение ограждающей дамбы золошлакоотвала (схема): 1 — русло реки; 2 — каменное сооружение; 3 — первичная дамба из суглинка; 4 — стальной водовод Ду 200 мм; 5 — трубчатый дренаж; 6 — дамба 1-го яруса из суглинка; 7 — смотровой водоводом; 8 — дамба 2-го яруса из суглинка; 9 — дамбы 3 и 4 ярусов золошлаков с пригрузкой суглинком; 10 — нормальное положение кривой депрессии и повышенное положение кривой депрессии при уровне воды в прудке выше НПУ и выходе из строя дренажа.

В качестве вывода необходимо отметить, что при назначении предельно допустимых показателей безопасной работы каждой конструкции следует исходить из уровня надежности сооружения в целом при той или иной аварийной ситуации или при расчетном случае, а не назначать эти показатели, основываясь на общепринятых обеспеченностях отклонений от средних значений на определенный доверительный интервал (например, 2σ или 3σ), как регламентируется нормами при определении расчетных величин нагрузок и характеристик материалов. Имеющиеся средства для вероятностных расчетов и анализа надежности позволяют провести исследование аварийных ситуаций на грунтовых сооружениях и назначить ПДЗ даже при отсутствии значительного объема статистических данных, основываясь на аналоговых рядах, накопленных для многих видов грунтов.

ЛИТЕРАТУРА.

1. **Желанкин В.Г.** К нормированию уровня надежности и коэффициентов безопасности грунтовых плотин. Сборник научных трудов МИСИ. Надежность работы элементов гидротехнических и гидроэнергетических комплексов. М.:1990г.
2. **Ростовское отделение «Теплоэлектропроект».** Существующий и проектируемый золоотвалы Несветай ГРЭС. Рабочие чертежи. Материалы изысканий. Ростов-на-Дону.: 1969 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ТЕХНОГЕННЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Дудченко Л.Н, доктор техн. наук (АО «ВНИИЭ»)

Вопросы контроля вибраций конструктивных узлов гидроагрегатов в установившихся и переходных режимах их работы проработаны достаточно детально. Объем и методика эксплуатационного контроля вибрационного состояния гидроагрегатов регламентируются соответствующими эксплуатационными циркулярами.

Напротив, изучению вибрационного (колебательного) состояния основных сооружений ГЭС в процессе их эксплуатации не уделялось должного внимания, хотя появлению и развитию дефектов в плотине и зданиях ГЭС в той или иной мере способствуют динамические деформации и напряжения, возникающие в них под воздействием переменных возмущений естественного (сейсмического) и техногенного происхождения.

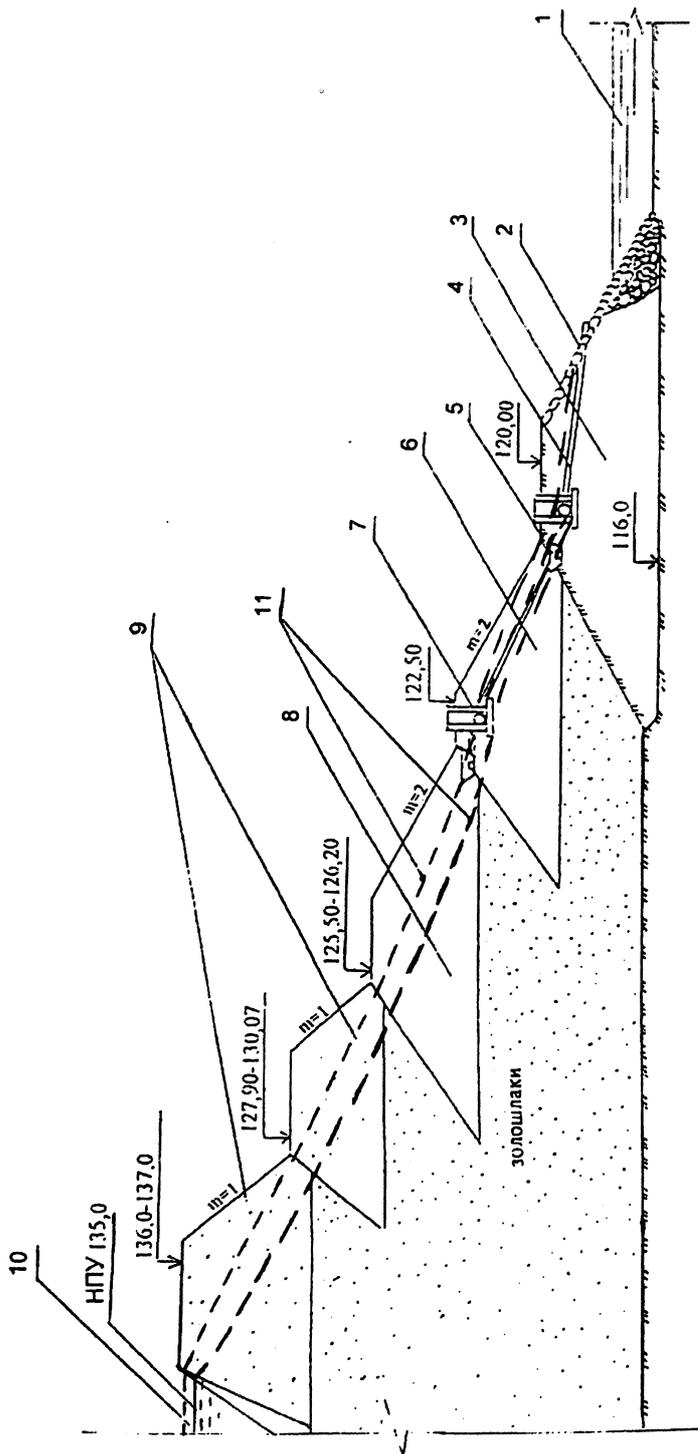


Рис. 2. Поперечное сечение ограждающей дамбы золошлакоотвала (схема): 1 — русло реки; 2 — каменное мо- щение; 3 — первичная дамба из суглинки; 4 — стальной водовод Ду 200 мм; 5 — трубчатый дренаж; 6 — дамба 1-го яруса из суглинки; 7 — смотровой колодец со стальным водоводом; 8 — дамба 2-го яруса из суглинки; 9 — дамба 3 и 4 ярусов золошлаков с пригрузкой суглинком; 10 — нормальное положение кривой депрессии и повышенное положение кривой депрессии при уровне воды в прудке выше НПУ и выходе из строя дренажа.

В качестве вывода необходимо отметить, что при назначении предельно допустимых показателей безопасной работы каждой конструкции следует исходить из уровня надежности сооружения в целом при той или иной аварийной ситуации или при расчетном случае, а не назначать эти показатели, основываясь на общепринятых обеспеченностях отклонений от средних значений на определенный доверительный интервал (например, 2σ или 3σ), как регламентируется нормами при определении расчетных величин нагрузок и характеристик материалов. Имеющиеся средства для вероятностных расчетов и анализа надежности позволяют провести исследование аварийных ситуаций на грунтовых сооружениях и назначить ПДЗ даже при отсутствии значительного объема статистических данных, основываясь на аналоговых рядах, накопленных для многих видов грунтов.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Желанкин В.Г. К нормированию уровня надежности и коэффициентов безопасности грунтовых плотин. Сборник научных трудов МИСИ. Надежность работы элементов гидротехнических и гидроэнергетических комплексов. М.:1990г.
2. Ростовское отделение «Теплоэлектропроект». Существующий и проектируемый золоотвалы Несветай ГРЭС. Рабочие чертежи. Материалы изысканий. Ростов-на-Дону.: 1969 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ТЕХНОГЕННЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Дудченко Л.Н; доктор техн. наук (АО «ВНИИЭ»)

Вопросы контроля вибраций конструктивных узлов гидроагрегатов в установившихся и переходных режимах их работы проработаны достаточно детально. Объем и методика эксплуатационного контроля вибрационного состояния гидроагрегатов регламентируются соответствующими эксплуатационными циркулярами.

Напротив, изучению вибрационного (колебательного) состояния основных сооружений ГЭС в процессе их эксплуатации не уделялось должного внимания, хотя появлению и развитию дефектов в плотине и зданиях ГЭС в той или иной мере способствуют динамические деформации и напряжения, возникающие в них под воздействием переменных возмущений естественного (сейсмического) и техногенного происхождения.

Характер вибрации основных конструктивных узлов гидроагрегатов, фундаментов и отдельных частей гидросооружений при стационарных режимах работы станции довольно сложный, с широким диапазоном частот, и зависит от:

суммарного проявления составляющих переменных возмущений, а именно: механических (неуравновешенность вращающихся масс агрегата; искривления общей линии вала гидроагрегата); гидродинамических (неравномерное распределение скоростей потока и вихреобразование, так называемые вихревые шнуры в проточной части турбины; колебание давления в напорном трубопроводе; кавитационные явления в турбине); электрических (переменные составляющие электромагнитного момента генератора вследствие несимметричной, как правило, нагрузки фаз; переменная составляющая силы магнитного тяжения между статором и ротором, изменяющаяся с частотой 100 Гц; электродинамические силы в обмотках статора);

упругих свойств основания плотины и фундамента здания; месторасположения отдельных элементов сооружения относительно источников возмущения;

числа, суммарной мощности и режимов работы агрегатов;

эксплуатационного состояния гидроагрегатных блоков и сооружения в целом.

На Зейской ГЭС были проведены замеры значений микроколебаний массивно-контрфорсной плотины на ее гребне (отм. 323 м) и в машзале (отм. 225 м) при трех работающих гидроагрегатов. Замеры проводились трехкоординатным сейсмометрическим комплексом КРС — КП. Спектральный состав возмущенных реакций плотины определялся на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье (рис. 1, 2).

Эти результаты натурных исследований показали, что наибольший удельный вес в спектре динамических нагрузок от работающих агрегатов имеют составляющие оборотной частоты и кратной ей. Существенными в ряде случаев являются также переменные составляющие лопастной и лопаточной частот, а также высокочастотные составляющие, обусловленные жгутовыми и кавитационными явлениями. Амплитуды высокочастотных составляющих возмущения в нормальных режимах работы агрегатов сравнительно малы и не оказывают существенного воздействия на сооружения.

Наибольшие амплитуды скорости смещения в данном режиме составили: на гребне плотины — 137 мкм/с; в машзале 700 мкм/с (по компоненте вдоль потока). С увеличением числа работающих агрегатов и, соответственно, суммарной мощности станции амплитуды микроколебаний возрастают.

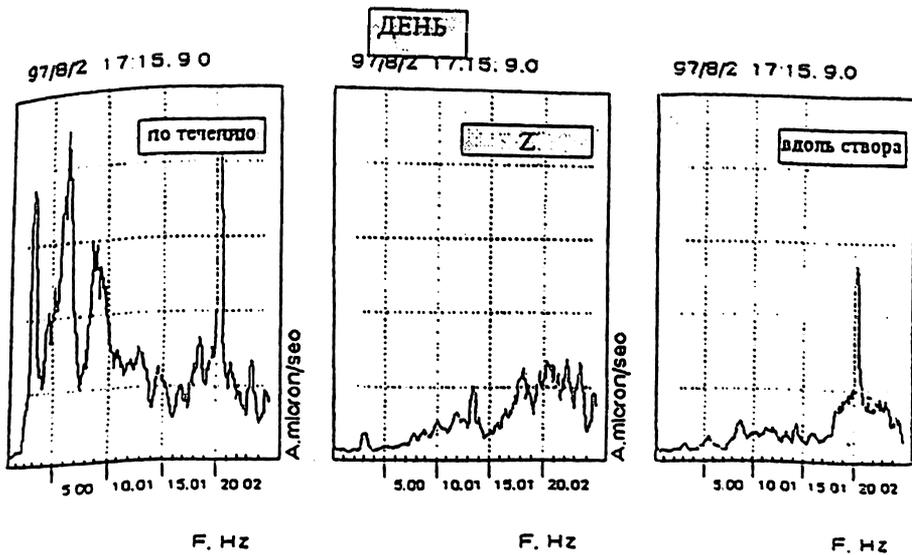


Рис. 1. Амплитудные спектры на гребне при трех работающих агрегатах.

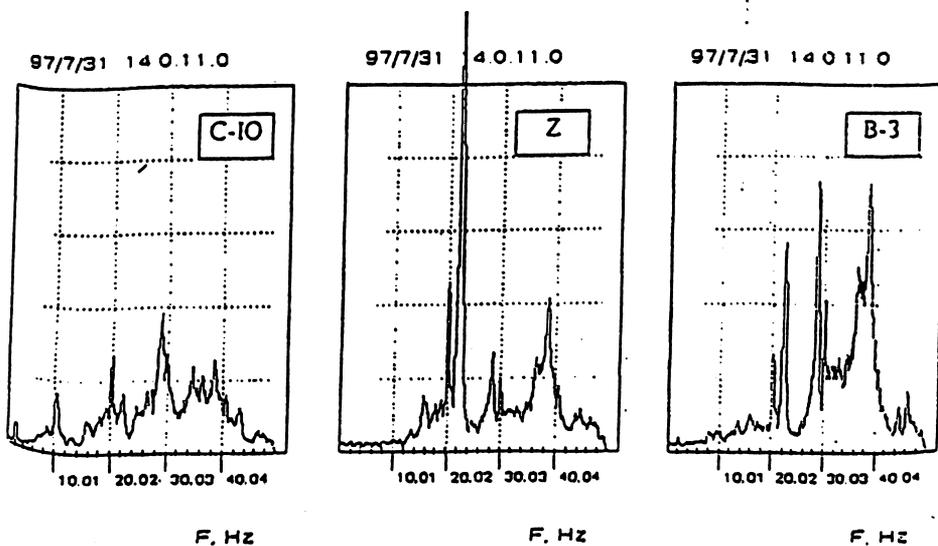


Рис. 2. Амплитудные спектры в машзале при трех работающих агрегатах.

Данный факт лишний раз подтверждает справедливость распространенного представления о том, что скальный массив основания плотины и бетон гидросооружения являются своеобразными интеграторами возмущающих сил (в том числе и сейсмического фона), вызывающих колебания плотины.

Характерным для компоненты вдоль потока скорости смещения контрольной точки гребня плотины является наличие сразу нескольких частотных пиков в полосе низких частот: 2,3 – 9 Гц. Причинами этого являются:

большой, как правило, удельный вес в спектре возмущающего воздействия, создаваемого работающими гидроагрегатами, оборотной частоты (для агрегатов Зейской ГЭС $f_{об} = 2,27$ Гц) и кратных ей; существенное проявление резонансных свойств — об этом можно судить, сопоставляя результаты расчетных собственных частот колебаний плотины (рис. 3) со спектральным распределением компоненты вдоль потока скорости смещения гребня плотины.

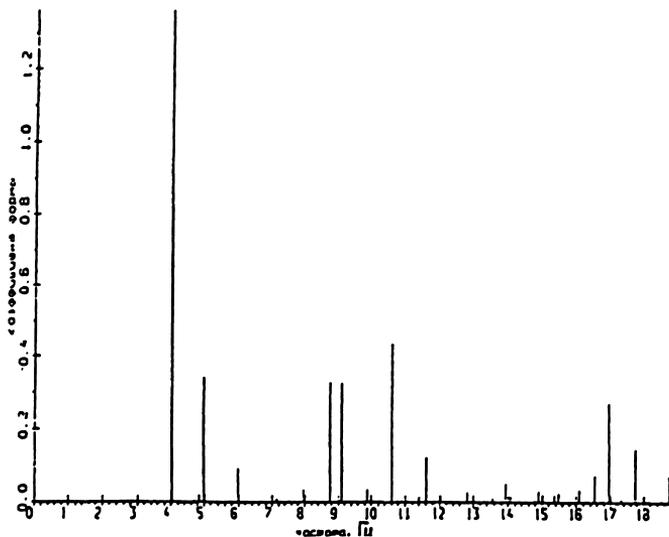


Рис. 3. Спектр собственных частот колебаний массивно-контрфорсной плотины Зейской ГЭС.

В этой связи в компоненте вдоль потока четко выявляется низшая частота собственных колебаний плотины 4,5 Гц. Это позволяет предложить способ интегрального контроля напряженно-деформированного состояния гидросооружения путем регулярных контрольных определений характерных частот и степени затухания свободных колебаний плотины на этих частотах.

Кроме этого, в спектре возмущений плотины присутствуют воздействия от расположенных вблизи сейсмогенерирующих тектонических разломов (Южно-Тукуринского разлома имеющего, по данным ЦСГНЭО, частоту максимальных колебаний 2,9 Гц).

Проведенные испытания на Зейской ГЭС показали, что амплитуды колебаний плотины в стационарных режимах работы агрегатов малозначительны. Это вызвано тем, что фундаменты под гидроагрегаты, нижняя часть здания ГЭС и сама плотина настолько массивны, что переменные составляющие возмущения от работающих агрегатов для плотины практически не ощутимы.

Тем не менее, в отклике плотины отчетливо прослеживаются резонансные явления, проявлению которых в значительной мере способствуют достаточно плотные спектры частот возмущающего воздействия и собственных колебаний плотины.

Действующие в настоящее время «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» предписывают, чтобы на бетонных гидротехнических сооружениях I класса проводились специальные натурные наблюдения за изменением состояния плотины при сейсмических и динамических воздействиях.

Для выявления источников с динамическим характером воздействия на плотину Зейской ГЭС были проведены специальные испытания и определены велосимметрические характеристики колебаний гребня плотины при пуске агрегата на холостой ход и включении в сеть, сбросе нагрузки с гидроагрегата, опускании аварийно-ремонтного затвора (АРЗ) в поток, т.е. при штатных, предусмотренных проектом, ситуациях работы основного оборудования.

Испытания показали, что воздействие аварийного сброса АРЗ на плотину при пониженных напорах (306,0 м при НПУ 315м) составляет 3 балла с периодом максимальных колебаний 0,17 – 0,25 с (4 – 5,9 Гц) и продолжительностью 10 с. Воздействие сброса нагрузки 70% от номинальной (150 МВт) с гидроагрегата — 4 балла, с периодом максимальных колебаний 0,6 с (16,7 Гц) и продолжительностью до 45 с. Сброс нагрузки с гидроагрегата зафиксирован и сейсмоскопом СБМ, установленным в 17-й секции плотины и настроенным на запись сейсмических толчков 5 баллов.

Неблагоприятен для плотины и пуск гидроагрегата на холостой ход с включением в сеть (рис. 4, 5). Максимальная амплитуда скорости смещения контрольной точки гребня плотины составила 412 мкм/с и в 4 – 5 раз превысила средний уровень фона при трех работающих агрегатах.

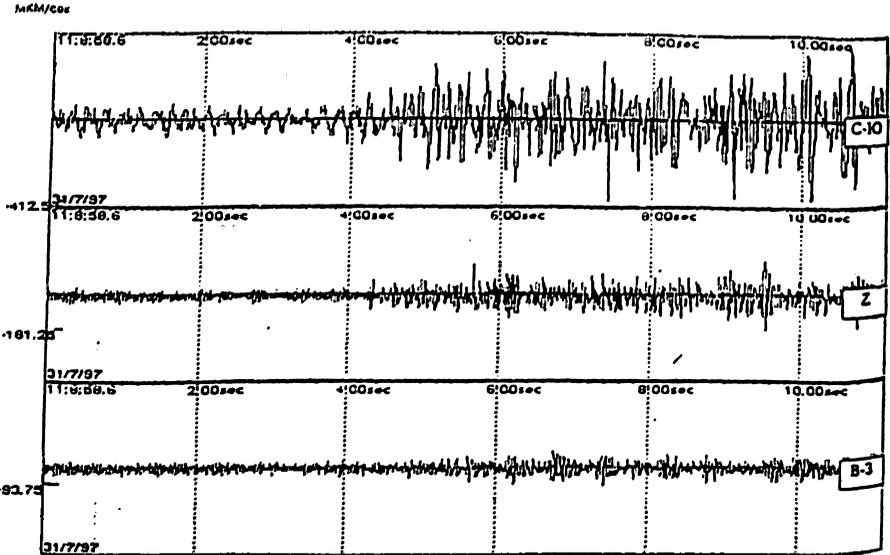


Рис. 4 Велосимметрические характеристики колебаний контрольных точек гребня плотины при пуске гидроагрегата на холостой ход (С-Ю — вдоль потока, В-3 — поперек потока, Z — вертикально).

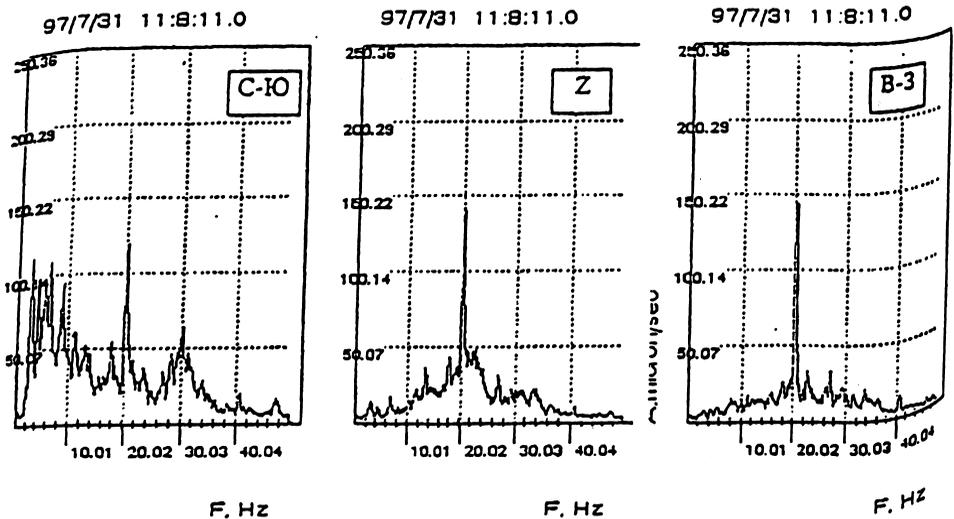


Рис. 5. Амплитудные спектры колебаний контрольных точек гребня плотины при пуске гидроагрегата на холостой ход (С-Ю — вдоль потока, В-3 — поперек потока, Z — вертикально).

Частотный состав колебаний гребня плотины при пуске гидроагрегата практически не отличается от спектра частот при работе генераторов в стационарных режимах.

Для подтверждения этих результатов и интегральной оценки интенсивности динамического воздействия (в баллах шкалы MSK) был проведен ежеминутный ручной замер показаний обратного отвеса смещений (вдоль и поперек потока) контрольных точек плотины в процессе пуска (рис. 6). Замерами показаний обратного отвеса подтверждены данные сейсмометрического комплекса КРС – КП, согласно которым интенсивность динамического воздействия на гребень плотины при пуске агрегата эквивалентна сотрясению силой 4 балла и классифицируется по шкале MSK как умеренное.

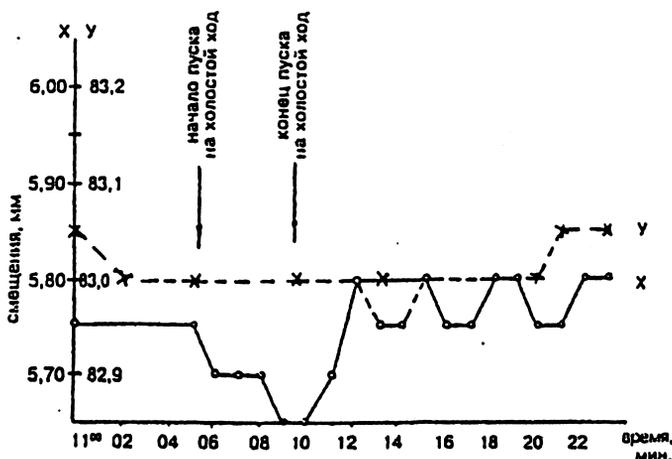


Рис. 6. Показания обратного отвеса при пуске гидроагрегата на холостой ход (отклонения : x — вдоль потока, y — поперек потока).

Характеризуя в целом этот отрицательный эффект, нельзя не отметить, что в 1995 году было осуществлено 795 пусков агрегатов, в 1996 году — 948 и в последующие годы их число было аналогичным. Таким образом, гребень плотины Зейской ГЭС непрерывно испытывает динамические ударные воздействия, равносильные сотрясениям интенсивностью 4 балла.

Следствием этого могут быть накопление усталостных повреждений, появление новых «пятен» усталости (трещинообразования), особенно в ослабленных зонах плотины.

В результате происходит медленная и постепенная деградация надежности плотины.

Следовательно, с учетом циклически изменяющегося гидростатического давления воды (с периодом раз в год) «довершить начатое дело» частичного повреждения плотины может и землетрясение меньше максимально расчетного (МРЗ).

Для Зейской ГЭС МРЗ составляет 9 баллов (повторяемость раз в 10000 лет). Если считать опасным, с учетом выше сказанного, сейсмическое воздействие в 8 баллов, а повторяемость такого землетрясения составляет (по данным ЦСГНЭО) 1 раз в 100 лет, то данный вывод принципиально изменяет оценку сейсмоопасности, ибо с 1901 года до настоящего времени сейсмических толчков такой интенсивности в зоне Зейской ГЭС еще не было и время их ожидания может сократиться до нескольких лет.

Переменные составляющие воздействия при пуске агрегата в некоторой мере можно снизить, как показали результаты натурных исследований, уменьшением пускового открытия направляющего аппарата турбины.

Повышению надежности работы плотины может способствовать также переход к избирательному выбору пускаемых агрегатов. Диагностика состояния отдельных секций плотины, расположенных над теми или иными агрегатами, позволит более обоснованно подходить к этому вопросу. Для его решения требуется накопление соответствующих статистических данных.

Выводы

1. Необходимо на крупных ГЭС, расположенных в сейсмоопасных зонах, провести исследование на предмет возникновения резонансных явлений работающего основного оборудования гидроэлектростанции и плотины в целом, а также плотины и параметров возможных землетрясений от расположенных вблизи сейсмостектонических разломов.

2. При выборе типа плотины необходимо исходить из возможности проявления резонансных свойств от работы основного оборудования ГЭС и близко расположенных сейсмостектонических разломов.

3. На гидроэлектростанциях с частыми пусками и остановками гидроагрегатов предусматривать мероприятия по снижению влияния этих пусков на деградацию надежности плотины.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ И НАЗНАЧЕНИЯ

Никитина Н.Я., инженер (ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)

Внедрение анализа и оценок риска в программы обеспечения безопасности плотин, происходящее в последнее десятилетие в ряде стран (США, Канада, Австралия, Китай, ЮАР, Россия и т.д.), показывает, что в применении концепции анализа риска к гидротехническим сооружениям (ГТС) остается ряд трудностей, однако такой подход уже приносит ощутимую пользу в сфере управления безопасностью ГТС.

К преимуществам методологии анализа и оценки риска, несомненно, относятся (рис. 1):

комплексность процедуры исследований, поскольку анализируются все мыслимые причины, способы и сценарии отказов, учитываются последствия аварий по всему спектру сценариев;

возможность учета факторов, не поддающихся пока количественной оценке (суффозия грунтов, «человеческий фактор» и т.д.);

возможность ранжирования опасностей, свойственных конкретному сооружению или группе сооружений (объектов), по уровню риска для населения, имущества и окружающей среды;

ясность, наглядность процесса анализа риска, позволяющие улучшить понимание особенностей сооружения и уровня его безопасности, а также выявить эффективные пути предупреждения аварий, локализации и ликвидации их последствий.

Однако как в России, так и за рубежом практические приложения анализа риска аварий ГТС пока весьма немногочисленны и методически разобщены, что объясняется прежде всего отсутствием единого подхода к решению таких задач. Кроме того, значительные затруднения при оценке риска связаны с вопросом о критериях приемлемого риска аварий ГТС, особенно риска для жизни людей.

В июне 1997 года в Трондхейме (Норвегия) состоялся первый международный семинар, специально посвященный оценке риска аварий плотин и считающийся началом процесса разработки согласованного на международном уровне подхода к анализу и оценке риска аварий ГТС и его роли в обеспечении безопасности ГТС. В августе 1999 года Технический Комитет по безопасности плотин (ICOLD) выпустил проект Бюллетеня «Оценка риска в помощь руководству по безопасности плотин», в котором представлен обзор

Рис. 1
ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ РИСКА

- **комплексность процедуры исследований –**
 - ⇒ анализируются практически все мыслимые причины, способы и сценарии отказов,
 - ⇒ учитываются последствия возможных аварий по всему спектру сценариев и реципиентов риска;

- **возможность учета факторов, не поддающихся количественной оценке –**
 - ⇒ суффозия грунтов,
 - ⇒ «человеческий фактор» и т.д.;

- **возможность ранжирования опасностей по уровню риска для населения, имущества и окружающей природной среды –**
 - ⇒ для конкретных сооружений,
 - ⇒ для группы сооружений, объектов;

- **ясность, наглядность процесса анализа риска –**
 - ⇒ улучшается понимание особенностей конкретного сооружения или их группы;
 - ⇒ выявляются эффективные пути предупреждения аварий, локализации и ликвидации их последствий.

используемых в анализе риска ГТС методов и приемов, их достоинств и недостатков [1]. По мнению авторов проекта Бюллетеня, «в дальнейшем развитии подхода вероятностной оценки риска, включая количественную оценку, заключен потенциал существенного повышения безопасности плотин».

В настоящее время отмечается три уровня применимости анализа и оценок приемлемости риска в сфере управления безопасностью ГТС [2]:

в первой группе стран анализ риска аварий ГТС рекомендован и достаточно широко используется; к этой группе относится, например, Норвегия, где новыми нормами и правилами регламентирован детальный анализ опасностей и риска; в Нидерландах также разработаны и применяются процедуры и критерии, основанные на анализе риска;

во второй группе стран ведутся исследования в сфере безопасности ГТС, однако имеются трудности в применении их на практике; например, в Швеции анализ риска рекомендован, но применяется только к критическим ситуациям;

в третьей группе пока принята позиция «подождем и посмотрим», причем в ряде стран анализ риска систематически используется в промышленности, но не применяется пока в гидротехнике; сюда относятся, например, Франция, Англия, Россия.

Анализ и оценка риска аварий ГТС в Российской Федерации регламентированы требованиями Федерального закона «О безопасности ГТС» и распространяются на ГТС, находящиеся в сфере действия Закона — плотины, ограждающие сооружения (дамбы) жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций, здания гидроэлектростанций, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоподъемники, сооружения, предназначенные для защиты от наводнений и разрушений берегов водохранилищ, берегов и дна русел рек, устройства от размывов на каналах, а также другие сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения вредного воздействия вод и жидких отходов, повреждения которых могут привести к возникновению чрезвычайной ситуации.

Практика обоснований уровня безопасности ГТС организаций топливно-энергетического комплекса, обеспечения и декларирования безопасности ГТС различного ведомственного и надзорного подчинения показывает, что серьезные трудности при внедрении процедуры анализа и оценки риска аварий отечественных ГТС

связаны с недостатком, а в ряде случаев и с отсутствием необходимых для анализа риска исходных данных о сооружениях, испытываемых ими нагрузках и воздействиях, социально-экономической инфраструктуре в зоне возможного аварийного воздействия ГТС и т.д. [3]. С учетом принципиальных сложностей в анализе риска ГТС, связанных с их уникальностью, разнообразием процессов и явлений, способных привести к аварии, недостаток информации о сооружениях заставляет специалистов использовать как количественные, так и качественные оценки уровня безопасности ГТС с широким применением экспертных суждений и статистических данных об авариях ГТС, имевших место в России и за рубежом. Указанные причины способствуют и разнообразию приемов анализа и оценки риска аварий ГТС.

В ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» уже в 1996 г. была создана группа по разработке основных положений анализа риска отечественных гидротехнических сооружений. В 1997 – 2000 гг. в институте было разработано более 70 деклараций безопасности ГТС объектов, подконтрольных Госэнергонадзору, Госгортехнадзору и МПР России. Кроме того, выполнены комплексные анализы безопасности различных природно-технических систем, включающих грунтовые ГТС и опасные производственные объекты. Параллельно велась деятельность по заказам РАО «ЕЭС России», в рамках которой отрабатывалась концепция анализа риска аварий ГТС в целом и золошлакоотвалов ТЭС в частности. Было сделано более сорока докладов и сообщений на семинарах и совещаниях различного уровня (МЧС России и его Северо-Западный центр, Госэнергонадзор России, Госгортехнадзор, РАО «ЕЭС России», «Колэнерго», «Карелэнерго», «Ленэнерго», «Челябэнерго», «Иркутскэнерго», «Комиэнерго», «Уралэнерго», «Тюменьэнерго» и т.д. [4-7]).

В итоге в 2000 г. в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» разработаны *«Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений»*, устанавливающие методические принципы, термины и определения анализа риска, основные требования к процедуре и оформлению результатов, а также представляющие методы анализа риска аварий гидротехнических сооружений различных типов и классов [8].

При разработке методических указаний использованы руководства Международного комитета по большим плотинам, научные публикации и практические результаты анализа и оценки риска аварий отечественных и зарубежных гидротехнических сооружений.

Методические указания предназначены для научно-исследовательских и проектных организаций гидротехнического профиля, экспертных центров по безопасности гидротехнических сооружений, органов Госэнергонадзора, Госгортехнадзора, Министерства природных ресурсов, Министерства транспорта и Министерства по чрезвычайным ситуациям России, осуществляющих надзор за безопасностью гидротехнических сооружений, эксплуатационного персонала предприятий, в ведении, собственности или эксплуатации которых имеются гидротехнические сооружения, а также страховых, аудиторских и оценочных компаний.

Процедура анализа риска наиболее эффективна, если ее осуществляет *группа экспертов*, включающая проектировщиков сооружения, специалистов в области гидрологии, гидротехники, устойчивости и фильтрационной прочности ГТС и представителей предприятия, ответственных за эксплуатацию ГТС.

Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений (на 87 страницах) содержат 32 страницы основного текста, введение, 6 разделов, список 20 источников информации, 11 таблиц, 8 рисунков и 6 приложений (рис. 2).

В первом разделе формулируются цель, назначение и сфера применения Методических указаний.

Второй раздел содержит перечень терминов и определений в области анализа риска и обеспечения безопасности ГТС.

В третьем разделе изложена концепция анализа риска аварий ГТС, базирующаяся на методологии системного анализа риска, широко применяемой в ряде опасных отраслей промышленности - атомной энергетике, нефтехимии, обращении с взрывчатыми веществами и т.д., с учетом особенностей ГТС, условий их проектирования, строительства и эксплуатации (рис. 3).

Четвертый раздел содержит основные требования к процедуре и подробную характеристику обязательных этапов анализа риска: организация и планирование работ; идентификация опасностей; вычисление и оценка риска; разработка (при необходимости) рекомендаций по уменьшению риска; оформление результатов анализа риска.

В пятом разделе Методических указаний приводятся рекомендации по выбору методов анализа риска на этапе идентификации опасностей с учетом этапа «жизненного цикла» ГТС. Представлены краткие характеристики следующих методов анализа риска (рис. 4):

«что будет, если ...?» (What-if ?);

проверочный лист (Check-List);

Рис. 2
СОДЕРЖАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ
ПО ПРОВЕДЕНИЮ АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ ГТС

- Введение
 - Общие положения
 - Термины и определения
 - Концепция анализа риска аварий ГТС
- Основные требования к проведению анализа риска аварий ГТС
 - Организация и планирование работ
 - Идентификация опасностей
 - Вычисление и оценка риска
 - разработка рекомендаций по уменьшению риска
- Методы проведения анализа риска аварий ГТС
 - «Что будет, если...?» (What-if ?)
 - Проверочный лист (Check-list)
 - Анализ опасности и работоспособности (HAZOP)
 - Анализ воздействий и способов отказа (FMEA)
 - Анализ воздействий, критических состояний и способов отказа (FMESA)
 - Анализ «дерева отказов» (FTA)
 - Анализ «дерева событий» (ETA)
- Требования к оформлению результатов анализа риска аварий ГТС
- Приложения
 - Рекомендации по оценке риска аварий, эксплуатационной надежности и безопасности гидротехнических сооружений
 - Алгоритм оценки риска отказов грунтовых плотин и дамб (по R. Fell)
 - Методика количественной оценки риска аварии дамбы
 - Алгоритм оценки вероятности отказов золошлакоотвалов
 - Алгоритм оценки вероятностей отказов механического оборудования ГТС
 - Оперативная количественная оценка уровня безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений

Рис. 3
КОНЦЕПЦИЯ АНАЛИЗА РИСКА
АВАРИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Термины:

Риск - динамическая характеристика (мера) опасности - сочетание частоты (вероятности реализации за известный период времени) и последствий определенного опасного события. В общепринятом понимании риск включает как минимум два элемента: ожидаемую частоту реализации того или иного опасного события и последствия этого события.

Анализ риска - процесс идентификации опасностей и оценка риска для отдельных лиц или групп населения, имущества и окружающей природной среды. Анализ риска заключается в использовании всей доступной информации для идентификации опасностей и оценки риска определенных по результатам идентификации опасных событий - в контексте настоящих методических указаний - аварий гидротехнического сооружения и связанных с ними ситуаций, обусловленных этими опасностями.

Идентификация опасности - процесс выявления и признания существования опасности источника потенциального ущерба людям, имуществу и окружающей природной среде.

Вычисление риска - определение уровня (степени) риска анализируемой опасности для здоровья человека, имущества и окружающей природной среды. Вычисление риска включает анализ и количественную оценку ожидаемой частоты реализации опасного события, анализ и оценку последствий опасного события и их сочетание. Кроме того, вычисление риска, как правило, содержит анализ неопределенностей в оценках частоты и последствий опасного события.

Оценка риска - процесс выработки решения, являются ли имеющиеся (вычисленные) риски приемлемыми, а меры контроля за сооружением - адекватными, и, если это не так, какие иные (дополнительные) меры контроля требуются.

Приемлемый (допустимый) риск - риск, уровень (степень) которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений.

Основные вопросы, на которые анализ риска должен давать ответы:

- Что плохого может произойти? (*идентификация опасностей*)
- Как часто это может случаться? (*анализ частоты*)
- Какие будут последствия? (*анализ последствий*)

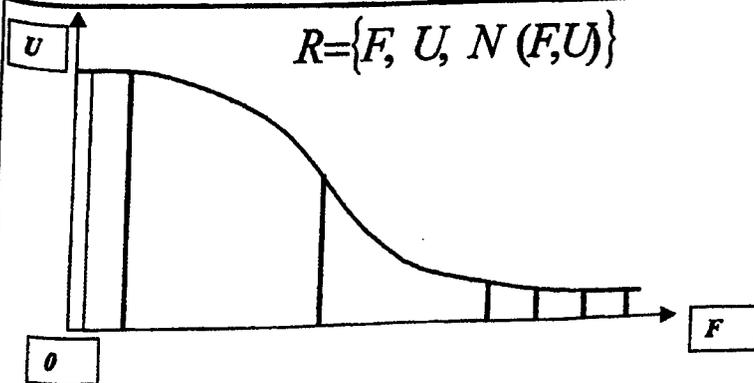
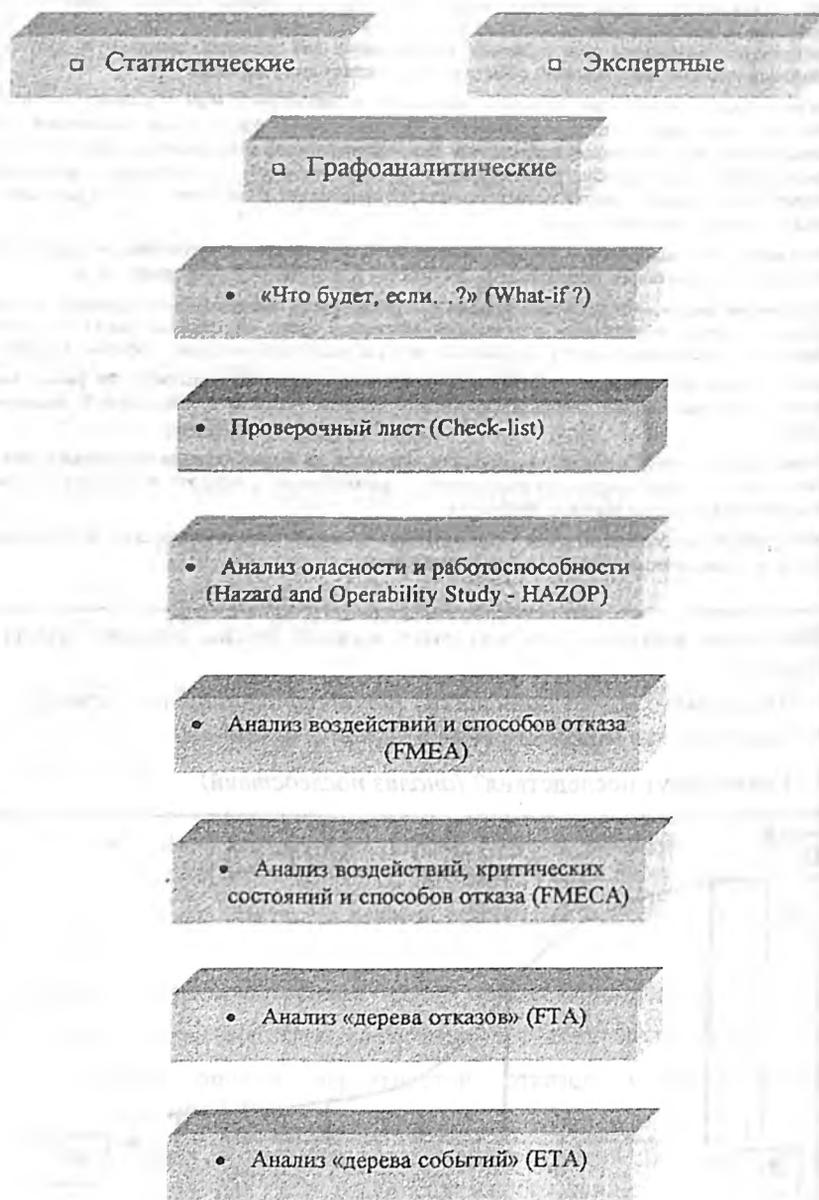


Рис. 4
МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ РИСКА



анализ опасности и работоспособности (Hazard and Operability Study – HAZOP);

анализ воздействий и способов отказа (Failure Mode and Effects – FMEA);

анализ воздействий, критических состояний и способов отказа (Failure Mode, Effects and Critical Analysis – FMECA);

анализ «дерева отказов» (Fault Tree Analysis – FTA);

анализ «дерева событий» (Event Tree Analysis – ETA).

В шестом разделе содержатся требования к оформлению результатов анализа риска аварий ГТС с учетом поставленных целей и задач.

Приложения к Методическим указаниям содержат:

1. Рекомендации по оценке риска аварий, эксплуатационной надежности и безопасности ГТС.

2. Алгоритм оценки риска отказов грунтовых плотин и дамб (по R.Fell).

3. Методику количественной оценки риска аварии дамбы.

4. Алгоритм оценки вероятности отказов золошлакоотвалов.

5. Алгоритм оценки вероятностей отказов механического оборудования ГТС.

6. Оперативную количественную оценку уровня безопасности ГТС.

Основные положения процедуры анализа и оценки риска распространяются на ГТС всех типов, классов и назначений, однако приведенные в Приложениях конкретные методики представляют собой отдельные фрагменты реализации основных положений и ориентированы, в первую очередь, на грунтовые и водосбросные сооружения (Приложения 2-5). Анализ риска бетонных плотин, накопителей промышленных отходов, сооружений для защиты от наводнений и разрушений берегов водохранилищ, других гидротехнических сооружений также может выполняться в соответствии с данными Методическими указаниями (Приложения 1,3,6), которые в дальнейшем будут развиты и дополнены методиками анализа и количественной оценки риска аварий гидротехнических сооружений различных типов и назначений. Несомненным достоинством всех представленных в Приложениях методиках анализа и оценки риска ГТС является их апробация на отечественных объектах гидротехники при разработке и экспертизе деклараций безопасности, в других практических задачах по обеспечению безопасности ГТС, решаемых в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» в последние годы. При

использовании той или иной методики следует учитывать объем и качество исходных данных о ГТС.

Разнообразие приведенных в Методических указаниях методик наглядно демонстрирует динамичность современного состояния проблемы анализа и оценки риска аварий гидротехнических сооружений в России и за рубежом. Сегодня, как справедливо отмечается в проекте Бюллетеня ICOLD [1], невозможна и вряд ли нужна единая методика анализа риска аварий ГТС. Более актуальной и продуктивной представляется формулировка общих принципов и основных положений методологии анализа и оценки риска, адаптированных к гидротехнической сфере деятельности. При этом конкретные методики, реализующие принципы и положения общей методологии для различных типов ГТС, позволяют не только решать практические задачи по обеспечению безопасности сооружений, но и уточнять, совершенствовать, развивать общие принципы и положения методологии в целом.

Следует особо отметить, что декларирование безопасности гидротехнических сооружений - отнюдь не единственная сфера применения Методических указаний. Весьма полезной и актуальной представляется роль настоящего документа в целом ряде видов деятельности по обеспечению безопасности ГТС, таких как выбор и обоснование проектных решений, оценка эффективности мероприятий по повышению безопасности ГТС, обоснование страховых тарифов и ставок и т.д [3]. В Методических указаниях приведен весьма обширный, но далеко не полный перечень практических целей анализа риска ГТС на различных этапах «жизненного цикла» сооружений (рис.5).

Коллектив авторов выражает глубокую благодарность НТЦ энергонадзора Минэнерго России за инициативу разработки стандарта предприятия «Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений», благодаря которой в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» был аккумулирован отечественный и зарубежный опыт анализа риска ГТС, разработан ряд методик анализа и количественной оценки риска аварий наиболее распространенных в России гидротехнических сооружений организаций топливно-энергетического комплекса, сформулированы методологические основы проведения анализа риска аварий ГТС всех типов, классов и назначения, намечены перспективные пути развития количественных оценок риска аварий ГТС.

Методические указания носят временный характер (срок действия СТП ВНИИГ 230.2.001-00 - 31.12.2001 г.), поскольку уже

Рис.5.

**СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

• *На этапе размещения и проектирования ГТС:*

- идентификация возможных опасностей и сравнительная оценка риска аварий ГТС для различных вариантов его размещения и проектных решений при обосновании оптимального варианта;
- обоснование приемлемости риска аварий проектируемого ГТС для персонала, населения, имущества и окружающей природной среды территории;
- обеспечение информацией для разработки инструкций по обеспечению безопасности проектируемого ГТС, планов ликвидации аварийных ситуаций, планов действий в чрезвычайных ситуациях и т.д.;
- обоснование страховых тарифов и ставок для заключения договора страхования гражданской ответственности объекта - владельца ГТС;

• *На этапе эксплуатации и реконструкции ГТС:*

- уточнение информации об основных опасностях (например, при изменении социально-экономической инфраструктуры в нижнем бьефе гидротехнического сооружения);
- оценка соответствия состояния ГТС и условий его эксплуатации современным нормам и правилам;
- определение приоритетных мер по ремонту и реконструкции ГТС, обоснование эффективности затрат на ремонт и реконструкцию;
- уточнение страховых тарифов и ставок;
- квалифицированное расследование причин имевших место аварий и неполадок на ГТС;
- разработка рекомендаций по организации безопасной эксплуатации ГТС, взаимодействию с органами надзора, лицензирования и т.д.;
- совершенствование планов локализации аварийных ситуаций и действий в чрезвычайных ситуациях;
- разработка противотеррористических паспортов объектов.

• *На этапе вывода из эксплуатации и консервации ГТС:*

- обоснование необходимых и достаточных мер по консервации объекта, обеспечивающих его безопасность на стадии вывода из эксплуатации и консервации;
- обоснование возможности размещения новых объектов на территории законсервированного сооружения.

сейчас ведется разработка ряда методик анализа и оценки риска аварий бетонных плотин, ГТС предприятий Госгортехнадзора, МПР и др. Предложения, отзывы и замечания на Методические указания будут с благодарностью приняты и учтены коллективом авторов при разработке второй редакции Методических указаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Memorandum to Members of ICOLD Committee on Dam Safety.** 19 October 1998. Guidelines on Risk Assessment on Dams.
2. **ICOLD Bulletin «Risk Assessment as an Aid to Dam Safety Management.»** Rev. №. 9. ICOLD, 24.08.99.
3. **Bellendir E.N, Solstkiy S.V., Nikitina N.Ja.** Methodical Basis and Progress in the Risk Analysis and Risk Assessment of Embankment Dams in Russian Federation. Proceedings of '99 International Conference on Dam Safety and Monitoring. 19-22 October 1999. P.R. China.
4. **Беллендир Е.Н., Сольский С.В., Никитина Н.Я.** Анализ вероятных сценариев возникновения и развития аварий и чрезвычайных ситуаций на золошлакоотвалах ТЭС РАО «ЕЭС России». Материалы совещания-семинара «Обеспечение безопасности сооружений тепловых электростанций» (БС ТЭС-97), 12-15 мая 1997 г. Челябинск.
5. **Беллендир Е.Н., Сольский С.В., Никитина Н.Я.** Основные сценарии возникновения и развития аварий и чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях и подход к количественной оценке ущерба для расчета страховых сумм. Материалы семинара «О независимой аудиторской и оценочной деятельности в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, страхования ответственности за причинение вреда в случае аварии на опасном промышленном объекте». МЧС России, 23-24 июля 1998 г. Москва.
6. **Сольский С.В., Никитина Н.Я.** Примерный план-график работ и их состав для декларации безопасности гидротехнических сооружений. Материалы семинара «Надзор и декларирование безопасности гидротехнических сооружений». Санкт-Петербург, Петербургский энергетический институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов (ПЭИПК). 17-19 мая 1999 г.
7. **Никитина Н.Я.** Идентификация опасностей и анализ риска аварий ГТС. Материалы семинара «Надзор и декларирование безопасности гидротехнических сооружений». Санкт-Петербург, Петербургский энергетический институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов (ПЭИПК). 17-19 мая 1999 г.
8. **Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений (СТП ВНИИГ.230.2.001-00).** Под ред. Е.Н. Беллендира, С.В. Сольского, Н.Я. Никитиной. Санкт-Петербург: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». 2000 г.

ОПЕРАТИВНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ

Ильин М.М., кандидат физ.-мат. наук., Речицкий В.И., кандидат техн. наук., Миллис Е.Г., Степанов М.И., инженеры (ЦСГНЭО — филиал АО «Институт Гидропроект»)

Оперативное обследование энергообъектов с использованием комплекса неразрушающих методов направлено на оценку реального состояния бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений.

Как правило, в бетонных и железобетонных гидротехнических сооружениях в строительной и эксплуатационной периоды ведутся контрольные и специальные натурные наблюдения и исследования в соответствии со СНиП 2.06.01-86 и СНиП 2.06.06-85. Цель, задачи и объемы этих исследований в каждом конкретном случае должны предусматриваться проектом. Состав, объемы и средства для контрольных наблюдений за состоянием бетона сооружений в строительный и эксплуатационный период (в первые 10 лет) достаточно полно определены в Указаниях ВСН 01-74 (Минэнерго СССР). Что же касается проведения специальных исследований, особенно на гидротехнических сооружениях после 10 лет эксплуатации, то они обосновываются порой трудно выполняемыми в условиях эксплуатации ГЭС программами, особенно при решении вопросов по реконструкции и техническому перевооружению существующих ГЭС.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что для решения задач по оценке реального состояния бетонных элементов конструкций гидротехнических сооружений наиболее пригодными оказываются такие методы натурных исследований, как выбуривание кернов и их испытания в лаборатории (по ГОСТ 10180-78), испытания бетона механическими методами неразрушающего контроля (эталонным молотком Кашкарова, прибором ГПНВ-5, склерометрами КМ, ОМП-1 и др. по ГОСТ 22690-88), химические анализы продуктов коррозии бетона (высолов) и фильтрационных вод, фотографирование разрушенных участков бетонной поверхности и др. Большая часть из гостированных методов трудоемки и дорогостоящие и позволяют оценивать состояние бетона только в пределах приповерхностного слоя или в отдельных точках конструкций и сооружений.

Возможности традиционных методов обследования бетона существенно расширяются при их комплексировании с сейсмоакустическими методами.

Сейсмоакустические методы, такие как просвечивание элементов конструкций и сооружений, сейсмопрофилирование и ультразвуковые наблюдения в скважинах, на поверхности бетона и на кервах (ГОСТ 17624-87), позволяют изучить скоростное строение исследуемых конструкций и сооружений, модуль упругости, коэффициент Пуассона. Многие дефекты бетона такие, как каверны, микро- и макротрещины, расслоения, инородные включения, недостаточное сцепление цементного камня с заполнителем и арматурой, разрушение бетона от воздействия мороза и солнечной радиации, намокания и высушивания бетона, могут быть обнаружены и исследованы с помощью методов сейсмического профилирования и сейсмического просвечивания и разных модификаций ультразвуковой дефектоскопии.

Совместные определения скорость — прочность, проведенные на отдельных характерных участках и на кернах, позволяют интерполировать полученные результаты по прочностным показателям на обследованные конструкции и сооружения.

Обследование бетона и бетонных конструкций сотрудниками ЦСГНЭО АО «Институт Гидропроект» производилось на Охинской, Южно-Сахалинской, Краснодарской ТЭЦ, Сахалинской ГРЭС, Зейской, Волгоградской, Чиркейской, Миатлинской, Чиркюртской, Белореченской, Майкопской и Краснополянской ГЭС.

Работы по обследованию энергообъектов выполнены в рамках «Комплексной программы по повышению сейсмостойкости объектов энергетической отрасли».

Задачи обследования:

изучение современного состояния бетонных плотин и бетонных конструкций зданий и сооружений;

определение упругих и прочностных характеристик бетона плотин и в бетонных конструкциях зданий и сооружений ГЭС и ТЭЦ.

Работы выполнялись с помощью компьютеризированной сейсмической станции СП-001 и компьютеризированной ультразвуковой аппаратуры УКА-96, созданных в ЦСГНЭО.

Методика обследования. На ТЭЦ и зданиях ГРЭС, как правило, проводились выборочные обследования бетонных элементов сооружений. Обследованию подвергались бетонные конструкции для наиболее важных частей технологического оборудования. При этом обследовались конструкции с явными признаками разрушения бетона

(нарушение поверхностного слоя, трещиноватость, оголение арматуры и т.д.), а для сопоставления — аналогичные конструкции без признаков деструктивности. Работы проводились: на дымовых трубах, градирнях, на опорных колоннах турбогенераторов, конденсаторов, питательных электронасосов, подкрановых балках, перекрытий, на ригельных и подкрановых балках и на фундаментах технологического оборудования и зданий.

На монолитных бетонах (арочных, контрфорсных плотин) ультразвуковые наблюдения проводятся в отдельных точках, как правило на участках, где проводились геомеханические работы по оценке прочностных показателей, и дополняются сейсмическими наблюдениями (просвечивание, профилирование), позволяющими оценить скоростное строение плотины в целом.

В зависимости от конструктивных особенностей обследуемых бетонных конструкций и возможности доступа к ним при исследовании использовались методики сквозного просвечивания и профилирования и, в наиболее благоприятных случаях их комбинация. При УЗН базы просвечивания составляли 0,25 — 1,5 м. Шаг исследования при профилировании в зависимости от состояния бетона менялся от 0,05 до 0,25 м, длина наблюденного годографа, соответственно, — от 0,3 — 0,4 м до 0,75 — 1,0 м.

С целью оценки преобладающего направления развитой трещиноватости в бетоне проводились круговые азимутальные наблюдения на базах 0,15 и 0,3 м и в отдельных случаях производилось профилирование с шагом 0,05-0,1 м по азимутам.

При сейсмоакустических исследованиях базы просвечивания составляют первые десятки метров, шаг исследования при профилировании 1 — 2 м.

На некоторых конструкциях из-за плохих поверхностных условий получить интерпретабельный материал по результатам профилирования не удалось и поэтому регистрировались только продольные волны по результатам просвечивания.

Необходимо отметить, что часто при обследовании конструкций с помощью профилирования регистрировались поперечные волны. На участках конструкций, где четко регистрировались продольные и поперечные волны, их кажущаяся частота составляла $f_p \cong 30 - 40$ КГц и $f_s \cong 15 - 20$ КГц в ультразвуковом диапазоне и, соответственно, 600 — 1500 и 400 — 500 Гц в сейсмическом.

Механические определения прочности бетона методом упругого отскока выполнены с помощью широко применяемого в настоящее время прибора — склерометра (молотка) Шмидта. Оцен-

ка прочности производится по отскоку (числу делений на шкале прибора) металлического ударника с закаленной сферической поверхностью от специально подготовленной поверхности бетона на испытываемой площадке.

Для работ использовался прибор швейцарской фирмы «Proceq SA» типа L с энергией удара (внедрения) $0,735 \text{ N} \cdot \text{м}$ (0,075 кгм).

Для проведения испытаний готовились квадратные площадки размерами 25 x 25 см. Подготовка площадки заключалась в удалении пленки цементного молочка, шлифовки поверхности абразивным камнем (вручную) и разметке площадки. Опробование каждой площадки производилось в узлах сетки $\cong 5 \times 5$, направление удара — вертикальное и горизонтальное. Таким образом, на каждой площадке было опробовано по 25 точек. Для оценки прочности бетона на каждой площадке результаты испытаний в точках осреднены, учитывалась дисперсия результатов в соответствии с характеристикой (тарировкой) прибора.

По результатам прямых измерений прочностных характеристик бетона молотком Шмидта и по полученным величинам скоростей упругих волн строится зависимость между скоростью упругих (продольных или поперечных) волн и прочностью на сжатие $R_{сж}$. Оценочные значения прочности определялись по значениям средних скоростей, полученным для каждой исследованной конструкции.

На основании полученных данных производится:

построение корреляционной зависимости скорость-прочность (по данным УЗН);

оценивается диапазон изменения скоростных характеристик бетона и его средние показатели (в сейсмическом и ультразвуковом диапазонах);

производится сопоставление результатов наблюдений в сейсмическом и ультразвуковом диапазонах и делается вывод об однородности бетона.

На основании полученных скоростей (по парным значениям V_p и V_s) для каждого типа конструкций определяется коэффициент Пуассона (μ), рассчитывается динамический модуль упругости (E_d) и оценивается статический модуль упругости (E_c) по зависимости $E_c = 0,3 E_d^{1,41}$.

Для характеристики состояния изучаемого бетона используется методика, оценивающая сохранность по относительным показателям, в частности по величинам V/V_{\max} , где V , V_{\max} , соответственно, текущие и максимальные значения скоростей поперечных или продольных волн в бетоне изучаемой группы конструкций.

Результаты работ представлены на примерах обследования Краснодарской ТЭЦ, Миатлинской и Чирюртской ГЭС.

Краснодарская ТЭЦ. При строительстве использовались бетоны марки М-140, М-150, М-200, М-300 и М-400.

Результаты проведенного выборочного инструментального обследования бетонных конструкций Краснодарской ТЭЦ показали, что: состояние бетона труб №2, 3 и 4 можно считать «удовлетворительным»: прочностные характеристики бетона, определенные по геомеханическим данным, и оценочные значения прочности по данным ультразвуковых наблюдений близки и составляют, соответственно, 250, 300, 450 кг/см² и 290, 300, 450 кг/см²;

общее состояние бетона в конструкциях КТЦ-1, КТЦ-2, ГТЦ, БНС-3 БНС-4 - «удовлетворительное», но при этом следует отметить, что: исследованный бетон, в пределах однотипных конструкций, характеризуется значительной скоростной дифференциацией; на отдельных конструкциях, подвергающихся знакопеременным нагрузкам (ригельные и подкрановые балки), преобладает развитие субвертикальной, а на опорных колоннах турбогенераторов - субгоризонтальной трещиноватости и микротрещиноватости; состояние отдельных опорных колонн турбогенераторов, ригельных и подкрановых балок, опор и фундаментов КТЦ-1, КТЦ-2 и ГТЦ можно признать, как «неудовлетворительное» и «плохое»;

для бетона в исследованных конструкциях оценочные значения прочности на сжатие меняются от 14,0 до 56,0 МПа, значения динамического модуля упругости от 50 до 400 x 10² МПа, статический модуль упругости варьируется в пределах 30-330 x 10² МПа.

Указанные средние значения в большинстве случаев превышают предусмотренные проектом марки бетона, однако анализ результатов опробований бетона конструкций методом упругого отскока показывает высокую неоднородность прочностных характеристик в идентичных элементах конструкций. Диапазон полученных значений прочности бетона на одноосное сжатие по опробованиям с помощью молотка Шмидта составляет от $R_c = 16,5$ МПа до $R_c = 61,2$ МПа.

При исследованиях методом упругого отскока не учитывается микротрещиноватость в глубине массива бетона, поэтому возможны некоторые расхождения с данными, полученными методом ультразвукового наблюдения.

Миатлинская ГЭС. При обследовании применялись сейсмический (просвечивание и профилирование) и ультразвуковой (азимутальные наблюдения с шагом 0,05 и 0,1 м на опытных площадках и ультразвуковой каротаж дренажных скважин) диапазоны частот.

По результатам ультразвуковых наблюдений на опытных площадках диапазон изменения средних скоростей (\bar{V}_p) составляет

2980-4720 м/с при $V_{\text{мод}}=4100$ м/с и среднеквадратичном отклонении 494 м/с. В блоке (абс. отм. 132-140 м, секции IV, VI и VIII) значения скоростей продольных волн понижаются, в среднем, до 3500 м/с.

Блок с пониженными скоростями, выделяющийся в секциях IV, VI и VIII, связан с изменением упругих свойств бетона, характеризующегося повышенной трещиноватостью, но не исключено, что понижение скоростей связано с изменением состава бетона, технологии укладки и т.д. Повышение скоростей в секциях I и II и на контакте бетон-скала, возможно, объясняется ростом арочных напряжений на этих участках и различным напряженно-деформированным состоянием бетона под действием пригрузки и реакции правого и левого бережных примыканий.

В целом по плотине отмечается градиентный рост \bar{V}_p , с уменьшением абс. отметки плотины, от 3640 м/с до 4470 м/с, при этом необходимо отметить, что значительное увеличение скоростей на отм. 81,5 м скорее всего связано с увеличением водонасыщения бетона (увеличение влажности бетона на 5% приводит к увеличению скорости на 8 – 10 %).

Водонасыщенный бетон, по результатам ультразвукового каротажа в обводненных скважинах, характеризуется на 95% уровне обеспеченности скоростным диапазоном 3900-5100 м/с, $V_{\text{мод}} = 4500$ м/с при среднеквадратичном отклонении 175 м/с. Анализ поведения графиков изменения скорости с глубиной говорит о неоднородном скоростном строении бетона в пробке плотины. Выделяются зоны с пониженными до 3900 – 4200 м/с значениями скоростей, которые довольно уверенно коррелируются между скважинами и ограничивают слои мощностью ~2,0 – 2,5 м.

По данным УЗН коэффициент анизотропии меняется в диапазоне от 0,85 до 1,01, при среднем 0,99. На отдельных участках, где визуально отмечается трещиноватость, он возрастает до 1,11 – 1,15.

Результаты исследований в разном частотном диапазоне показывают, что диапазоны изменения скоростей продольных волн при сейсмических и ультразвуковых исследованиях близки и для бетона в естественно сухом состоянии соответственно равняются 3600 – 5000 м/с и 3000 – 5000 м/с. Модальные значения скоростей по данным УЗН составляют 4100 м/с, по данным сейсмических наблюдений равняются 4180 м/с, при этом значения средних скоростей отличаются на ~5%/

Результаты проведенных сейсмоакустических работ позволили оценить скорости продольных и поперечных волн в бетоне и соста-

вить представление о скоростном строении плотины. Отклонения от средних значений скоростей, в целом, не превышают 11% (по данным профилирования 4 – 5%, по данным просвечивания 6 – 7% и по данным УЗН 4 – 11%) и, соответственно, вариации величин модуля статической упругости менее 20 – 30%, поэтому скоростные изменения в пределах плотины при оценке упругих и прочностных характеристик бетона при моделировании можно не учитывать, за исключением, возможно, блока в секциях IV, VI и VIII плотины (абс. отм. 132 – 140 м).

Бетон в пределах блока секций IV, VI и VIII, в среднем, характеризуется величинами динамического модуля упругости 26000 МПа и статического модуля упругости 20000 МПа, что на 26% меньше, чем в среднем по плотине. Прочностные характеристики бетона в этом блоке, по данным оценки, составляют 20 МПа.

По результатам обследования установлено:

бетон в плотине не везде однороден, но отклонения от средних значений скоростей, в целом, не превышают 11%, что позволяет оценить состояние бетона в теле плотины как хорошее и на участках с пониженными упругими характеристиками — как удовлетворительное;

в пределах плотины выявлены аномальные участки с повышенными и пониженными скоростями:

аномальные участки с повышенными скоростями $V_p > 4300$ м/с и $V_s > 2500$ м/с зарегистрированы на контакте с примыканиями плотины ниже отм. 113,5 м и в секциях I и II, что, скорее всего, объясняется ростом арочных напряжений на этих участках и различным напряженно - деформированным состоянием бетона под действием пригрузки и реакции право- и левобережных примыканий;

участок с пониженными скоростями упругих волн, $V_p < 4100$, $V_s < 2300$ м/с, выделяющийся в секциях IV, VI и VIII, возможно, связан с изменением состава бетона, технологии укладки и т.д.

Чирюртская ГЭС. Визуальное обследование бетонных конструкций здания ГЭС-1 проводилось в сентябре 1998 г. во время инструментального обследования и после землетрясений, произошедших 31.01.1999 г. и 21.02.1999 г.

Визуальное обследование в сентябре 1998 г. производилось после косметического ремонта. Бетонные сооружения и конструкции в помещениях подземной части здания ГЭС-1 были покрашены масляной краской и побелены (в помещении машинного зала), что значительно затруднило проведение работы. Большая часть обнаруженных трещин была покрыта краской или побелкой и, в основном, проявлялась, как след (небольшое углубление с раскрытием до 0,1 – 0,2 мм).

На отдельных конструкциях (подкрановые балки, колонны, балки перекрытий и стенках улиток первого и второго агрегатов) встречались трещины, прорывающие свежую побелку (краску).

По результатам визуального обследования бетонных конструкций можно сделать следующие выводы:

на всех участках, где при визуальном осмотре отмечалось наличие трещиноватости в штукатурке, при вскрытии бетона выявлено, что она вызвана наличием трещин в бетоне;

на подкрановых балках и балках перекрытия здания ГЭС выявлены отдельные субвертикальные трещины и зоны с повышенной трещиноватостью, секущие конструкции;

на участках сопряжений колон со стеной по оси А имеются трещины с шириной раскрытия 0,1 – 1,0 см.;

на углах технологических отверстий в опорных колоннах выявлено наличие отдельных микротрещин и участков с повышенной субгоризонтальной микротрещиноватостью;

трещины №4, №5 и зона повышенной трещиноватости на площадке А — сквозные и прослеживаются в стене нижнего бьефа, как минимум, до отм. 50,3 м.

По результатам повторных обследований, проведенных после землетрясений, произошедших 31.01.1999 г. и 21.02.1999 г., в «Акте технического обследования гидротехнических сооружений Чирюрской ГЭС» отмечается:

«возникновение сети мелких трещин по подкрановым балкам, оконным проемам. По 2,3 и 4 опоре здания и подкрановых путей четче обозначились вертикальные продольные трещины (до 3 – 4 мм)»;

«наблюдаемые трещины по наружным стенам здания ГЭС без изменения»;

на подкрановых балках в сечениях 2–2, 3–3 и 4–4 с отметки пола отчетливо видны отдельные трещины, которые ранее просматривались только с близкого расстояния;

после землетрясения, произошедшего 22 февраля 1999 г., визуально отмечается дополнительное раскрытие трещины №3 и трещины №5.

Инструментальное обследование бетонных конструкций здания ГЭС проводилось в сентябре 1998 г. с целью оценки упругих и статических характеристик бетона для расчета сейсмостойкости.

В ходе работ обследованы:

колонны, стены спиральной камеры гидроагрегатов и стены со стороны верхнего и нижнего бьефа в подземной части здания ГЭС;

опорные колонны, подкрановые балки и балки перекрытий в машинном зале.

Подземная часть здания ГЭС.

По результатам обследования бетона, слагающего стену со стороны верхнего бьефа (исследования проводились по наружной поверхности), значения скоростей V_p меняются, на уровне 95% обеспеченности, в диапазоне 1400 – 4000 м/с, среднее значение $V_p = 2770$ м/с при среднеквадратичном отклонении 620 м/с. Средний коэффициент анизотропии $\alpha = V_{\text{анн.}} / V_{\text{анкр.}} = 0,97$ (выборка из 70 значений при среднеквадратичном отклонении $S = 0,201$). Выделяются отдельные участки с пониженными скоростями (площадки № 1–11, 13, 21 и 22), соответствующие зонам с повышенной микротрещиноватостью. Значительная асимметрия индикатрис скоростей на отдельных участках связана с единичными трещинами, пересекающими площадку, с раскрытием 0,1 – 0,2 мм. На этих площадках разница в измеренных скоростях доходит до 10 – 27%.

На площадке №14 (внутренняя поверхность стены, отм.51,5 м), где была вскрыта зона с несколькими трещинами с раскрытием до 0,2 – 0,4 мм, значения скоростей V_p в зоне с повышенной трещиноватостью составляет 900 – 1200 м/с, в сохранном бетоне – 2600 м/с.

Сопоставление результатов геомеханических наблюдений по определению прочностных показателей с данными ультразвуковых наблюдений дало ряд несопоставимых значений.

Последнее также подтверждает вывод о наличии в бетоне развитой трещиноватости и микротрещиноватости, которая незначительно влияет на результаты определения прочностных показателей с помощью молотка Шмита и значительно на величины скоростей.

Результаты проведенного выборочного инструментального обследования бетонных конструкций здания ГЭС показали, что:

исследованный бетон характеризуется значительной скоростной дифференциацией;

по результатам статистической обработки графики распределения, как правило, имеют двухмодальный характер: выделяются группы значений с повышенными и пониженными скоростями. Пониженные значения $V_{p\text{mod}1}$ характеризуют состояние бетона на участках с повышенной трещиноватостью, а $V_{p\text{mod}2}$ — на участках, где трещиноватость развита незначительно;

на отдельных конструкциях (балки перекрытий, подкрановые балки, стены) преобладает развитие субвертикальной трещиноватости;

инструментально подтверждено наличие трещин, секущих насквозь стену со стороны нижнего бьефа (№5 и А) до отметок 48,0 и 50,3 м, соответственно;

выявлено, что диапазон изменения скоростей, средние и модальные значения скоростей, характеризующие состояние бетонов марки 100 – 150 (подземная часть здания) и 200 – 300 (конструкции машзала), практически не отличаются. Последнее при нормальном состоянии бетона исключено, и поэтому можно сделать заключение, что состояние бетонных конструкций машзала (опоры, балки перекрытия и подкрановые балки) значительно ухудшилось за период эксплуатации.

В результате воздействия землетрясений 1999 г. произошло проявление и раскрытие старых трещин и образование новых, и состояние бетонных конструкций ухудшилось. Поэтому для оценки реального состояния бетонных конструкций и соответствия их нормативным характеристикам необходимо:

- усилить геодезический контроль за осадками здания ГЭС;
- провести инструментальное определение прогибов и деформаций конструкций согласно методическим указаниям по обследованию строительных конструкций производственных зданий и сооружений;

- провести поверочные расчеты отдельных конструкций (балки перекрытия, подкрановые балки и т.д.) для оценки их несущих способностей.

Выводы

Использование сейсмоакустических и ультразвуковых методов в комплексе с традиционными методами неразрушающего контроля позволяет существенно повысить информативность оперативных обследований энергообъектов.

Опыт обследования Краснодарской ТЭЦ, Чирюртской ГЭС и Митлинской ГЭС показал, что применение сейсмоакустических и ультразвуковых методов позволяет:

- картировать сооружения и отдельные конструкции по степени сохранности;
- делать массовые оценки прочности сооружения;
- определять степень неоднородности бетона и давать оценку состоянию сооружения в целом.

КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

*Брызгалов В.И., Гордон Л.А., доктора техн. наук
(ОАО «Саяно-Шушенская ГЭС»)*

Контролируемые показатели и технические средства контроля.

Плотина Саяно-Шушенской ГЭС арочно-гравитационного типа [1]. Арочные пояса - круговые трехцентровые арки. Напорная грань - цилиндрическая поверхность с вертикальной образующей. Каньон трапецеидальный. Высота плотины 242 м, длина плотины по гребню 1070 м, по подошве — 400 м, толщина плотины по гребню 25 м, максимальная толщина по подошве — 105 м. Вдоль потока плотина разделена на четыре столба толщиной 25 м каждый, поперек потока плотина разделена на 68 секций протяженностью 15 м каждая.

Под контролируемыми показателями понимаются:

все измеряемые техническими средствами контроля количественные параметры (перемещения, деформации, фильтрационные расходы, пьезометрические напоры, ширина раскрытия швов, взаимные перемещения секций и столбов по швам);

все вычисляемые по измеренным количественные параметры ;
качественные признаки состояния, фиксируемые визуально (трещины, промоины, известковый налет, визуально фиксируемые водопроявления, пятна сырости и т.д.).

Технические средства контроля и измеряемые параметры. Система контроля включает следующие подсистемы:

подсистему контроля НДС (напряженно-деформированного состояния), включающую в себя около 6000 датчиков струнного типа для измерения температур и деформаций в различных точках плотины; с 2400 датчиков сбор измерений автоматизированный;

подсистему фильтрационного контроля, включающую 250 пьезометров в основании плотины и берегах, а также более 50 точек измерения фильтрационных расходов (сбор данных ручной);

подсистему геодезического контроля, обеспечивающую измерение плановых (вдоль и поперек потока) и вертикальных перемещений (осадок), а также взаимных перемещений элементов сооружений относительно внутренней и внешней каркасных сетей; для измерения вертикальных перемещений подсистема включает 4 куста фундаментальных реперов, 1360 рабочих реперов, более 100 глубинных реперов, систему гидростатических нивели-

ров с общим числом марок 550; для измерения плановых смещений служат система знаков триангуляции, плановых марок, система светодальномерных измерений, система прямых и обратных отвесов, позволяющая контролировать плановые перемещения 66 точек плотины; для контроля взаимных смещений установлено более 100 трехосных щелемеров;

подсистему контроля внешних воздействий (уровней бьефов, расходов, температур окружающего воздуха, состава воды и т.д.); автоматизированную подсистему сейсмометрического контроля.

Примечания.

1. Во внутренней каркасной сети за условно неподвижную принята горизонтальная плоскость, проходящая через якоря обратных отвесов (расположенная примерно на глубине 40 м от подошвы плотины). Во внешней каркасной сети за условно неподвижное начало отсчета перемещений принят куст фундаментальных реперов, расположенный на берегу р. Енисей в 3 км ниже створа плотины.

2. Подсистема сейсмометрического контроля не является диагностической, так как в процессе прохождения сейсмического толчка в силу его кратковременности проконтролировать состояние сооружения не представляется возможным. Контроль и оценку состояния плотины и основания можно провести другими подсистемами после сейсмособытия.

Основные вычисляемые параметры:

напряжения, вычисляемые по деформациям и температурам бетона подсистемы НДС;

интегралы от напряжений - нормальные и перерезывающие силы, изгибающие и крутящие моменты в характерных сечениях;

углы поворота горизонтальных сечений плотины, вычисляемые по относительным осадкам поперечных гидростатических нивелиров (см. ниже);

равнодействующие эпюр противодавления, суммарные фильтрационные расходы по всему сооружению и отдельным его частям, вычисляемые по данным измерений подсистемы фильтрационного контроля;

производные от измеряемых параметров по координатам, УВБ и времени — градиенты и скорости изменения контролируемых показателей при росте УВБ, тренды — необратимые составляющие измеряемых параметров (в первую очередь, необратимые перемещения).

Общая схема диагностического контроля.

Определение критериев безопасности является одной из задач диагностического контроля, в число которых входят:

выбор из числа контролируемых диагностических показателей наиболее существенных и полезных, по которым оценивается состояние сооружения и назначаются критерии безопасности (выбор диаг-

ностического пространства); анализ остальных контролируемых показателей производится при обнаружении отклонений от нормальной работы, зафиксированных диагностическими показателями;

выбор системы возможных состояний сооружения (выбор возможных диагнозов);

определение границ между возможными состояниями - критериев безопасности и отнесение состояния плотины (предъявленных для анализа значений диагностических показателей) к одному из возможных диагнозов путем сравнения измеренных (вычисленных по измеренным) диагностических показателей с критериями безопасности (задача классификации);

разработка мер по ликвидации неисправностей и отказов, установленных при диагностическом контроле (задача принятия решений).

Последняя задача здесь рассматриваться не будет.

При *выборе диагностических показателей* из всей имеющейся совокупности контролируемых показателей использовалось несколько диалектически взаимосвязанных правил:

диагностический показатель должен быть достаточно «чутким» к изменению внешних воздействий на сооружение; если контролируемый показатель «не реагирует» на изменение УВБ и температур окружающей среды, то вряд ли он пригоден в качестве диагностического;

диагностический показатель не может быть «чрезмерно чутким» к изменениям внешних условий, он должен быть устойчив настолько, чтобы поддаваться прогнозу; например, мгновенная температура воздуха не может быть диагностическим показателем, так как предсказать (спрогнозировать), какой она будет через сутки, невозможно, а среднемесячная температура поддается прогнозу и может служить диагностическим показателем;

в диапазоне изменения внешних воздействий при нормальной эксплуатации сооружения (например, при изменении УВБ от УМО до НПУ) амплитуда (размах) изменения показателя, выбранного в качестве диагностического, должна в несколько раз превосходить погрешность измерения (вычисления) этого показателя; в противном случае замер будет соизмерим с погрешностью, и диагностика будет недостоверной;

совокупность диагностических показателей должна быть, по возможности, полной, такой чтобы контролировать все возможные сценарии повреждений и отказов;

во избежание ложной тревоги желательно, чтобы один и тот же диагностический показатель измерялся не одной, а несколькими независимыми измерительными системами.

Система возможных состояний принята аналогично рекомендуемой «Методикой определения критериев безопасности гидротехнических сооружений [2]. Сооружение может находиться в одном из трех состояний:

- исправное (нормальное) состояние;
- поврежденное (потенциально опасное) состояние;
- неисправное (предаварийное) состояние.

Примечания. 1. Терминология [2] приведена в скобках. 2. Число возможных состояний (диагнозов) может быть больше трех. «Идеалом» диагностического контроля является установление «точного» диагноза (например, засорение дренажа под m -ой секцией водосливной плотины). Однако диагнозов не должно быть менее трех. Три группы возможных состояний — минимально допустимое количество диагнозов для гидротехнического сооружения. Дихотомия (наличие двух возможных состояний — исправного и неисправного) — естественно для изделий с «мгновенным» отказом типа электрической лампы, реле, транзистора. Эти изделия или работают, или не работают. Отказ гидротехнического сооружения не мгновенный: сооружение оснащено контрольно-измерительной аппаратурой, позволяющей зафиксировать отклонения от нормальной работы и предотвратить повреждение или отказ.

Наличие трех групп возможных состояний естественным образом определяет наличие двух границ между состояниями — двух групп критериев. В «Методике» [2] эти критерии обозначены через:

K1 (предупреждающие критерии, задающие границу между нормальным и потенциально опасным состояниями);

K2 (собственно критерии безопасности, задающие границу между потенциально опасным и предаварийным состояниями).

Под K1 и K2 в [2] понимается некоторое численное значение диагностического показателя, превышение которого приводит к изменению состояния сооружения. То есть критериальные соотношения, согласно [2], имеют вид:

а) состояние сооружения нормальное (исправное), если

$$\text{Физм} \leq K1; \quad (1)$$

б) состояние сооружения потенциально опасное, если

$$K1 < \text{Физм} \leq K2; \quad (2)$$

в) состояние сооружения предаварийное, если

$$\text{Физм} > K2, \quad (3)$$

где Физм — измеренное (вычисленное по измеренным) значение диагностического показателя; K1, K2 — числа (критерии), достижение которых хотя бы одним диагностическим показателем будет означать переход из одного состояния в другое.

Гидротехнические сооружения находятся под воздействием нагрузок, меняющихся в широком диапазоне (например, гидростатическое давление на плотину меняется при изменении УВБ от УМО

до ФПУ; для Саяно-Шушенской ГЭС разница в уровне мертвого объема и ФПУ превышает 40м). Поэтому для Саяно-Шушенской ГЭС, в соответствии с рекомендациями «Методики» [2], принято, кроме сравнения с критериальными значениями, в диагностический контроль включать сравнение измеренного диагностического показателя с прогнозируемым его значением, контролировать попадание диагностического показателя в доверительный интервал, прогнозируемый для реально действующих на момент проверки нагрузок:

$$\text{Фпрог} - \delta \leq \text{Физм} \leq \text{Фпрог} + \delta, \quad (4)$$

где Физм — измеренное (вычисленное по измеренному) значение диагностического показателя; Фпрог — значение диагностического показателя, прогнозируемого для реальных нагрузок и воздействий детерминистической или статистической прогнозной моделью; δ — допускаемая погрешность прогнозной модели. Построение прогнозных моделей и вычисление Фпрог и δ будет рассмотрено ниже на примерах.

Примечание. Обе проверки — сравнение со статическими критериями (1)-(3) и динамическим критерием (4), меняющимся в зависимости от реальных нагрузок и воздействий, представляются обязательными. Они являются необходимыми и достаточными условиями безопасности. Действительно, при использовании лишь динамического критерия (4), как это иногда предлагается, возможна ситуация, когда построена весьма точная прогнозная модель для диагностического показателя (например, для необратимого наклона плотины в нижний бьеф). Измеряемый показатель (наклон) будет попадать в прогнозируемый интервал. Однако может наступить момент, когда при «сбывающемся» прогнозе плотина наклонится настолько, что потеряет устойчивость и опрокинется. От этого могут гарантировать только условия типа (1) — (3). Использование только статических критериев (1) — (3) также не может гарантировать безопасности. В этом случае возможна такая ситуация. Предположим, что угол наклона верховой грани плотины φ ограничен из условия устойчивости на опрокидывание: $K_2 = \varphi = 1^\circ$ (примем, что при УМО $\varphi = 0$). Такой угол поворота можно допустить только при экстремальных воздействиях (например, при нагрузках и воздействиях основного сочетания при УВБ, равном НПУ). Предположим, что при диагностическом контроле измеренный угол составил $\varphi_{\text{изм}} = 0,9^\circ$, т.е. условие (3) соблюдено, и формально состояние плотины будет оценено как нормальное. Однако это условие выполнялось при УВБ более низком, чем НПУ, например при половинном гидростатическом давлении верхнего бьефа. При незначительном росте УВБ условие (1) может быть нарушено, так как измеренное значение угла явно превосходит прогнозируемое (при половинной нагрузке и линейно упругой работе сооружения ожидаемый угол должен быть не более половины градуса). Только наличие проверки (4) может гарантировать от ошибочной диагностики при использовании только статических критериев (1) — (3).

Определение критериев безопасности.

Среди разработчиков «Методики» [2] велась дискуссия о том, что принимать в качестве критериев K_1 и K_2 . Преобладали две точки зрения. Первая — связать назначение K_1 и K_2 с группами предель-

ных состояний. Вторая — связать назначение K1 и K2 с основным и особым сочетаниями нагрузок. Вопрос остался практически открытым, и основной раздел 4 «Методики» [2] обошел ключевой спорный вопрос и не дал четкого ответа, что принимать в качестве K1 и K2. Рассмотрим оба предложения и сформулируем предлагаемую схему.

Действующие нормы проектирования СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования» [3] регламентируют расчет гидротехнических сооружений по методу предельных состояний (п.2.1):

«Расчеты необходимо производить по двум группам предельных состояний:

по первой (полная непригодность сооружений, их конструкций и оснований к эксплуатации) — расчеты общей прочности и устойчивости системы сооружение-основание, общей фильтрационной прочности оснований и грунтовых сооружений, прочности отдельных элементов сооружений, разрушение которых приводит к прекращению эксплуатации сооружений, расчеты перемещений конструкций, от которых зависит прочность или устойчивость сооружений в целом и др.;

по второй (непригодность к нормальной эксплуатации) - расчеты оснований на местную прочность; расчеты по ограничению перемещений и деформаций, образованию и раскрытию трещин и строительных швов, нарушению местной фильтрационной прочности или прочности отдельных элементов сооружений, не рассматриваемой по предельным состояниям первой группы».

Сторонники первой точки зрения аргументировали свою позицию, базируясь на сравнении формулировок СНиП и «Методики»:

второе предельное состояние (непригодность к нормальной эксплуатации) фактически синоним предупреждающего критерия K1, задающего границу между исправным (нормальным) и поврежденным (потенциально опасным) состояниями; при наличии повреждения временная эксплуатация сооружения допустима (возможно, в облегченных, щадящих режимах), однако требуется ликвидация повреждения и восстановление нормального состояния;

первое предельное состояние (полная непригодность к эксплуатации) фактически синоним критерия безопасности K2, задающего границу между повреждением и отказом (между потенциально опасным и предаварийным состояниями), достижение критерия K2, как и первого предельного состояния, означает отказ сооружения и вывод его из работы.

Однако формулировка п.2.1 СНиП о проведении расчетов по двум предельным состояниям весьма архаична. Она предполагает, что существуют: а) независимые расчеты на общую и местную прочность, б) расчеты по образованию и раскрытию трещин, проводимые независимо от расчетов на прочность. Такая ситуация имела место 30 лет назад. В настоящее время расчет гидротехнических сооружений производится на ЭВМ с использованием промышленных конечно-элементных комплексов, позволяющих в единой расчетной модели рассмотреть сооружение со всеми его конструктивными элементами. То есть нет деления расчетов на местную и общую прочность. Перемещения, деформации, напряжения связаны между собой фундаментальными зависимостями механики сплошных сред. Поэтому нет также и отдельных от прочностных расчетов (определяющих напряжения в сооружении) расчетов по ограничению перемещений и деформаций, по образованию и раскрытию трещин. Два-три десятилетия назад, когда решение трехмерных задач неупругого равновесия было технически невыполнимо, на практике использовались эмпирические схемы расчетов железобетонных конструкций по образованию трещин, не опиравшиеся на фундаментальные соотношения механики. Теперь такая возможность имеется. В современных неупругих расчетных моделях и перемещения, и деформации, и напряжения определяются в рамках единой расчетной модели, при этом может быть учтено раскрытие швов и образование трещин. СНиП признает этот факт в п.2.6: «расчет конструкций следует производить с учетом нелинейных и неупругих деформаций, влияния трещин и неоднородности материалов». Таким образом, современных расчетов по второй группе предельных состояний не существует, что фактически закрывает путь назначения K_1 и K_2 , опираясь на расчеты по двум предельным состояниям (так как расчет фактически один).

Чисто формально сохранить две группы предельных состояний можно лишь, не связывая эти состояния с видом расчета. Можно экспертным путем составить перечень элементов конструкций гидротехнических сооружений, в которых нарушение ограничений по напряжениям, перемещениям, наличию трещин признается первым предельным состоянием (угрожает безопасности сооружения, грозит прорывом напорного фронта, требует незамедлительного вывода из эксплуатации). Аналогично можно составить перечень элементов конструкций, в которых нарушение критериальных соотношений по напряжениям или перемещениям признается лишь повреждением, требующим его ликвидации, но не требующим вывода сооружения из эксплуатации.

Сторонники второй точки зрения ссылались на п.2.8 СНиП [3]: «Гидротехнические сооружения следует рассчитывать на основные и особые сочетания нагрузок и воздействий». При этом нагрузки особого сочетания трактовались как нагрузки более редкой повторяемости (большие по величине нагрузок основного сочетания). На этом основании предлагалось в качестве К1 принять значения напряжений, деформаций, перемещений, соответствующие основному сочетанию нагрузок, а для К2 — особому. Однако фактически из всех нагрузок и воздействий, действующих на гидротехническое сооружение, лишь два - сейсмическое воздействие и расчетные максимальные расходы воды (паводки различной обеспеченности) — непосредственно связываются с различной повторяемостью воздействия. Реально задаваемые нормами нагрузки основного и особого сочетаний (исключая сейсмические) отличаются незначительно. Может даже оказаться, что нагрузки основного сочетания вызывают напряжения и перемещения большие, чем нагрузки особого сочетания. Таким образом, такой подход оказывается также неконструктивным, так как значения К1 и К2 либо близки, либо переход через К2 происходит ранее, чем через К1.

Чтобы избежать противоречий, отмеченных выше, предлагается следующий подход к назначению К1 и К2.

Конструкции и сооружения делятся на две группы :

первая группа — конструкции, отказ которых представляет угрозу прорыва напорного фронта или нарушению основных функций гидроузла и требует вывода сооружения из эксплуатации (в некотором смысле аналог первого предельного состояния);

вторая группа — конструкции, отказ которых не влечет опасности прорыва напорного фронта или нарушения работы гидроузла и не требует вывода сооружения из работы.

Перечень конструкций первой и второй групп составляется экспертами для каждого гидроузла индивидуально.

Для первой группы сооружений вводятся две группы критериев: К1 — предупреждающие, К2 — безопасности. Для второй вводятся только предупреждающие критерии К1.

В качестве предупреждающего критерия К1 (для обеих групп сооружений) предлагается использование динамического критерия (4) — попадание диагностического показателя в прогнозируемый интервал:

$$F_{\text{прог}} - \delta \leq \text{Физм} \leq F_{\text{прог}} + \delta, \quad (4)$$

Если измеренное значение диагностического показателя Физм не попадает в прогнозируемый интервал, то это сигнализирует об от-

клонении работы сооружения от прогнозируемого (ожидаемого), что предлагается считать наступлением потенциально опасного состояния. Способы построения прогнозных моделей, позволяющих определять F_{prog} и его погрешность σ будут описаны ниже на примерах.

Таким образом, в предлагаемой схеме в отличие от [2] нет статического критерия (2), его функции выполняет динамический критерий (4).

Рассмотрим определение критерия безопасности K_2 на основе детерминистических расчетов. Для простоты будем полагать, что конструкция выполнена из однородного материала.

Для определения критерияльных значений K_2 используется следующий алгоритм:

1. Выполняются поверочные расчеты сооружения на все сочетания нагрузок и воздействий, регламентированных нормами проектирования, и вычисляются расчетные значения диагностических показателей в ряде точек ($i=1, 2, \dots, I$) сооружения F_{ic} , включая те точки, в которых производятся измерения диагностических показателей (например, напряжения σ_{ic}), где i — номер точки, c — номер сочетания нагрузок.

На стадии эксплуатации поверочные расчеты выполняются в рамках идентифицированных и откалиброванных расчетных моделей (уточненных по данным натурных измерений). Процедуры идентификации и калибровки будут рассмотрены ниже на примерах.

2. По результатам каждого c -го расчета выберем некоторую точку M , где значения диагностического параметра достигают своего максимума. Всего этих точек даже для конструкции из однородного материала может быть несколько (по одной для каждого c -го сочетания нагрузок в случае однородного материала). Обозначим расчетные значения диагностического показателя в точках M через F_c : $F_c = \max F_{ic}$

Введем понятие допускаемого значения диагностического показателя $[F_{ic}]$ для i -ой точки c -го сочетания нагрузок и определим $[F_{ic}]$ как:

$$[F_{ic}] = k_c \cdot F_{ic}, \quad (5)$$

где $k_c = R / (\gamma_n \cdot F_c) \quad (5^*)$

Коэффициент k_c имеет смысл коэффициента запаса по несущей способности для c -го сочетания нагрузок.

В (5)* использованы стандартные обозначения норм [3]:

R — расчетное значение обобщенной несущей способности материала конструкции или основания (расчетное сопротивление материала, максимально допустимый градиент напора и т.д.);

γ_n — нормативный коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения, учитывающий капитальность и значимость последствий при наступлении предельных состояний.

Произведение R/γ_n будем называть максимально допускаемой величиной диагностического показателя (например, максимально допускаемым напряжением).

Таким образом, согласно (5), (5)* допускаемое значение диагностического показателя $[Fic]$ в i -ой точке c -го сочетания нагрузок определяется умножением значений расчетных диагностических показателей Fic на коэффициент запаса k_c .

Чтобы избежать противоречий между требованиями СНиП к расчетам по предельным состояниям и диагностическим контролем эксплуатируемого сооружения, примем значения коэффициента надежности в соответствии с п.2.2 норм [3]:

Класс сооружения	I	II	III
Коэффициент надежности γ_n	1,25	1,20	1,15

Примечание. Необходимость введения коэффициента запаса по несущей способности k_c обусловлена тем, что проектирование сооружения — задача многокритериальной оптимизации, и, как правило, по одному показателю (критерию) в реально запроектированном сооружении допустимый предел по несущей способности не реализуется (имеется запас, превышающий максимально допустимый). Например, для бетона плотины I класса расчетное сопротивление R на сжатие определено в 13,75 МПа (следовательно, допускаемое напряжение $R_{\gamma_n} = 1,75/1,25 = 11$ МПа), а в поверочных расчетах на основное и особое сочетания нагрузок максимальное напряжение в некоторой точке M окажется равным 10 МПа. Следовательно, в запроектированном сооружении при действии нагрузок c -го сочетания имеется запас по прочности на сжатие, превышающий допустимый в $k_c = 1,1$ раза.

3. В качестве критериального значения K_2 (критерия безопасности) диагностического показателя для i -ой точки сооружения примем минимум по всем сочетаниям нагрузок допускаемого значения диагностического показателя $F(i,c)$:

$$K_2(i) = \min_c [F(i,c)] \quad (6)$$

В предлагаемой схеме критерий безопасности K_2 для каждой i -ой точки сооружения имеет свое значение. При этом среди точек имеется, как минимум, одна точка M , где критериальное значение равно максимально допускаемому значению диагностического показателя R/γ_n , что согласуется с основными требованиями норм.

Примечания

1. Предлагаемая схема назначения K_2 на основе поверочных расчетов основывается на гипотезе о том, что увеличение расчетного значения диагностичес-

кого показателя F_{ic} в точке М в k_c раз приводит к увеличению значений диагностического показателя в остальных точках во столько же раз. Строго говоря, это справедливо для линейно упругих систем при однопараметрическом росте нагрузки в k_c раз.

2. Изложенный выше алгоритм назначения K_2 существенно «осторожнее», чем предлагаемый в «Методике» [2], так как является «минимальной огибающей» любого варианта определения K_1 и K_2 (и по двум предельным состояниям и по всем сочетаниям нагрузок и воздействий).

3. Предлагаемая методика допускает значения диагностического показателя равным максимально допустимому значению R/γ_n не во всех точках наблюдения, а лишь в одной точке М однородной подобласти сооружения; в других точках допускаемые значения ниже, так как при достижении в них величины R/γ_n эта величина будет превышена в точке М.

4. Наглядным «образом» предлагаемой схемы диагностического контроля является шкала со стрелкой-указателем величины диагностического показателя. На шкале нанесена красная черта — значение критерия безопасности K_2 . Переход стрелки за красную черту сигнализирует о наступлении предаварийного состояния (достижения хотя бы в одной точке предельно допускаемого значения диагностического показателя). Вдоль шкалы перемещается «желтый зайчик» — прогнозируемый интервал. Местоположение зайчика меняется в зависимости от величины нагрузок и воздействий, приложенных к сооружению в момент контроля. Если стрелка (измеренное значение диагностического показателя) попадает в желтый зайчик (и зайчик не заходит за красную черту), то сооружение исправно. Если стрелка не попала в желтый зайчик (и зайчик не вышел за красную черту), то это означает, что работа сооружения отлична от нормальной, и состояние сооружения потенциально опасно. Попадание стрелки в зайчик — предупреждающий критерий K_1 .

Способ вычисления K_2 на основе статистических (регрессионных) моделей будет описан ниже на примерах.

Выбор диагностических показателей.

Рассмотрим последовательность диагностического контроля, включая определение критериев безопасности K_2 и предупреждающих критериев K_1 для нескольких диагностических показателей состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС.

Контролируемые показатели - плановые перемещения и ихращения.

При проектировании высоких бетонных плотин, в частности арочных, определяющими диагностическими показателями являются напряжения, так как основным критерием безопасности таких плотин на стадии проекта является не превышение прогнозируемых расчетом напряжений величин расчетных сопротивлений материала (бетона) на сжатие, сдвиг, растяжение. На стадии эксплуатации более ценными в диагностическом отношении становятся перемещения (примечание).

Примечание. Вычисление напряжений производится, как правило, по данным натурных измерений деформаций с помощью струнных датчиков, гаран-

тийный срок службы которых относительно невелик (10–20 лет). Эти датчики не могут быть поверены и заменены, что понижает достоверность измерений, особенно по прошествии 10–20 лет после их установки. Пересчет деформаций в напряжения содержит ряд неопределенностей, обусловленных недостаточной адекватностью реальности используемых моделей материала, недостаточной изученностью реологических свойств бетона, неопределенностью момента, с которого материал (бетон) превращается из жидкого в твердое тело. База осреднения напряжений струнных датчиков равна длине струны прибора (как правило, 40 мм), база осреднения расчетных напряжений примерно равна размеру сетки расчетной конечноэлементной модели, на практике эта база на порядок больше базы датчика. Сопоставление напряжений, прогнозируемых расчетом, и вычисленных по данным натурных измерений недостаточно корректно из-за значительной разницы в базах осреднения.

Перемещения этими недостатками не обладают: измеряются непосредственно сами контролируемые параметры, технические средства измерений поверяются, погрешность измерений поддается достоверной количественной оценке.

При оперативном эксплуатационном контроле практически невозможно контролировать абсолютные перемещения, определенные в проекте, так как измерительные системы вступают в эксплуатацию после того, как плотина частично возведена и построена. Поэтому контролируются не сами перемещения, а их приращения по сравнению с некоторым начальным (нулевым) циклом измерений. Для плотины Саяно-Шушенской в качестве начального принят цикл измерений, соответствующий УМО отм. 500 м в 1989 г.

Выбор наиболее информативных (диагностических) показателей из всех контролируемых перемещений осуществлялся в соответствии с вышеизложенными правилами. Покажем, что радиальные перемещения и их приращения обладают необходимыми качествами диагностического показателя.

Погрешность измерения контролируемых перемещений. На плотине СШ ГЭС с помощью системы прямых и обратных отвесов, а также светодальномерных измерений расстояний измеряются (контролируются) плановые перемещения (радиальная X и тангенциальная Z компоненты вектора перемещений) в 66 точках как во внутренней, так и во внешней каркасной сетях

Суммарная величина погрешности во внутренней каркасной сети складывается из инструментальной погрешности отвесов и погрешности внешних условий, включающей возможное отклонение струны под действием потоков воздуха и отклонения за счет изменения массы водохранилища при различных НПУ. Расчеты показали, что суммарная среднеквадратическая погрешность измерения плановых смещений X , Z гребня плотины относительно якорей обратных отвесов (во внутренней каркасной сети) составила 0,52 мм.

Среднеквадратическая погрешность измерения смещений якорей обратных отвесов во внешней каркасной сети (относительно точки стояния светодальномера) складывается из погрешности измерений отвесами (0,52 мм) и светодальномерами (1,5 мм). Просуммировав эти погрешности (по правилам суммирования среднеквадратических погрешностей), получим, что среднеквадратическая погрешность измерения X и Z во внешней каркасной сети равна 1,6 мм.

В таблице 1 приведены данные измерений приращений радиальных перемещений δX в части точек плотины СШ ГЭС при изменении УВБ от УМО отм. 500 м до НПУ 540 м за 1993 – 1995 гг.

Из таблицы 1 видно, что приращения радиальных перемещений плотины δX , во всех точках, начиная от отм. 344 м и выше, превышают 6 мм, что в несколько раз больше среднеквадратической погрешности измерений как во внутренней (0,52 мм), так и во внешней каркасной сетях (1,6 мм) и, следовательно, могут быть приняты в качестве диагностических параметров.

Прослеживаемая по таблице 1, даже визуально, устойчивая закономерность измерений δX по годам, а также по высоте и фронту плотины позволяют рассчитывать на то, что X (δX) поддаются прогнозу. Это также подтверждает целесообразность принятия радиальных перемещений X и их приращений в точках плотины на отметках не менее 344 м в качестве диагностических параметров.

При контроле состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС радиальные перемещения (их приращения при изменении УВБ от УМО) точек в теле плотины (начиная от отм. 308) приняты в качестве диагностических показателей и используются в оперативном контроле за состоянием плотины.

Тангенциальные перемещения на порядок меньше радиальных, их величины соизмеримы с погрешностью измерений, поэтому в качестве диагностических параметров они не брались.

Углы поворота горизонтальных сечений плотины (осей поперечных гидростатических нивелиров).

В радиальных галереях плотины СШ ГЭС установлены гидростатические нивелиры, позволяющие измерять относительные осадки в нескольких (5 – 7) точках радиальных сечений плотины. Первоначально в соответствии с проектом поперечные гидронивелиры были установлены в пяти секциях плотины (секции 18, 25, 33, 39, 45) на 4-х отметках (отм. 308 м, 332 м, 344 м, 359 м), всего 20 гидростатических нивелиров.

Таблица 1

Приращения радиальных перемещений плотины (мм) при наполнении водохранилища от отм. 500 м до отм. 540 м. Отм 542 м (гребень плотины)

Годы	18 секция	25 секция	33 секция	39 секция	45 секция
Отметка 542 м (гребень плотины)					
1993	66,1	87,1	90,9	77,6	59,8
1994	61,7	80,5	83,1	70,8	51,8
1995	63,9	83,5	87,9	75,6	59,1
Отметка 494 м Секция 33 – ключевая					
1993	50,3	66,5	69,9	61,9	46,8
1994	47,7	63,0	64,8	56,8	41,2
1995	48,8	64,3	67,5	56,8	41,2
Отметка 440 м					
1993	31,7	43,3	45,3	42,8	30,9
1994	30,3	40,8	42,3	38,3	28,5
1995	30,7	41,7	42,4	39,8	30,3
Отметка 386 м					
1993	16,0	22,6	24,1	22,4	15,0
1994	15,7	21,4	22,5	20,1	14,4
1995	15,4	21,9	23,5	20,2	15,4
Отметка 344 м					
1993	7,1	10,5	11,2	10,0	6,9
1994	7,2	10,2	10,7	9,5	6,6
1995	6,3	9,9	10,9	9,8	7,1
Отметка 308 м (подошва плотины)					
1993	2,1		3,7		1,5
1994	2,5		5,3		1,6
1995	1,9		3,3		1,4

По измеренным относительным осадкам можно методом наименьших квадратов построить прямую, угловой коэффициент которой дает угол поворота горизонтального сечения плотины, расположенного вдоль оси гидростатического нивелира. Начальная эксплуатация плотины показала, что углы поворота горизонтальных радиальных сечений плотины, вычисляемые по данным измерений относительных осадок марок поперечных гидростатических нивелиров, являются одними из наиболее эффективных диагностических показателей. Поэтому в процессе эксплуатации число контролируемых горизонтальных сечений (поперечных гидронивелиров) было увеличено до 35.

Анализ погрешности показал, что максимально возможная среднеквадратическая погрешность измерения и вычисления угла поворота радиального сечения плотины (оси гидронивелира) не превышает 0,7 сек.

В таблице 2 приведены вычисленные по измеренным относительным осадкам марок поперечных гидронивелиров углы поворота одного из сечений плотины : ключевое сечение (секция 33), контакт плотины со скальным основанием (отм. 308 м).

Из таблицы 2 видно, что:

Таблица 2

Угол поворота радиального сечения плотины (сек)

Наполнение					
УВБ	Дата	Угол		Дата	Угол
500	24.05.93	0,5		01.05.94	0
505	30.05.93	-2,8		27.05.94	-2,7
510	04.06.93	-6,1		02.06.94	-7,0
520	14.06.93	-18,9		17.06.94	-17,8
530	01.07.93	-29,5		20.07.94	-28,7
535	09.08.93	-36,5		09.08.94	-35,9
Сработка					
535	23.11.93	-38,7		23.11.94	-38,9
530	31.12.93	-34,2		22.12.94	-33,3
520	15.02.94	-24,0		19.02.95	-23,6
510	20.03.94	-10,4		24.03.95	-10,1
505	10.04.94	-7,0		09.04.95	-7,0
500	01.05.94	0,5		26.04.95	-0,5

вычисленные по данным измерений углы существенно больше погрешности их вычисления и измерения (0,7 сек);

углы чутко реагируют на изменения внешних воздействий (изменение УВБ);

устойчивые и физически оправданные изменения углов в различные годы и циклы сработки-наполнения позволяют рассчитывать на возможность построения достоверной прогнозной модели; построение статистической прогнозной модели для углов см. ниже.

Сказанное выше относится ко всем сечениям, в которых установлены поперечные гидронивелиры. Таким образом, углы поворота осей поперечных гидронивелиров обладают свойствами, указанными в п.3.10 и были приняты в качестве диагностических показателей состояния.

Наиболее ценными являются углы поворота сечений близких к контакту плотины с основанием (гидронивелиров, установленных в цементационной галерее на отм. 308 м). Находясь практически в зоне постоянных температур (глубоко в теле плотины, ниже УНБ), эти углы «чутко следят» за колебаниями УВБ и практически не реагируют на колебания иных воздействий (например, сезонных изменений температур).

Необратимые радиальные перемещения.

Среди эксплуатационных показателей состояния одними из важнейших являются необратимые перемещения сооружения. При постановке сооружения под нагрузку и в первые годы его начальной эксплуатации происходит адаптация сооружения к окружающей его среде:

разгрузка скального основания;

возникновение и развитие не учтенных в проекте нарушений сплошности (трещин, раскрывающихся швов) в системе «сооружение-основание»;

реологические процессы (ползучесть молодого бетона, пластические деформации грунтов);

рост противодавления на подошву сооружения.

В процессе адаптации происходят необратимые перемещения сооружения. Эти перемещения оказывают влияние на безопасность сооружения. Общепринято считать, что для обеспечения надежности необратимые перемещения должны затухнуть в первые несколько лет начальной эксплуатации.

Примечание. Под необратимыми понимаются те перемещения, которые остаются в сооружении после снятия нагрузки. Полностью разгрузить эксплуатируемое гидротехническое сооружение невозможно. Поэтому вопрос о том, какую часть общего (измеренного) перемещения определить как необратимое слагаемое, решается неоднозначно. Для ГЭС с годичным регулированием стока простейшим определением необратимого перемещения за год (цикл наполнения-сработки) будет разность перемещений при минимальных (равных УМО) УВБ на соседних ветвях сработки. На Саяно-Шушенской ГЭС принято несколько иное правило вычисления необратимых перемещений. На ветви сработки выбран интервал с относительно низкими УВБ (от отм.520м до УМО отм.500м). При столь низких УВБ (малых нагрузках) необратимые перемещения не возникают. В пределах интервала выбирается несколько УВБ (например, УВБ отм.520м, 515м, 510м, 505м и 500м). При этих отметках измеряются X_{ij} - радиальные перемещения X при УВБ = j в год с порядковым номером i . Вычисляется разность измеренных перемещений i -го и предыдущего $i-1$ года при одинаковых УВБ: $U = X_{ij} - X_{i-1,j}$, находится $U_{ср}$ - среднее значение U для всех выбранных УВБ, величина $U_{ср}$ - необратимое перемещение, накопленное за год. Вычисление необратимого перемещения не по одному, а по нескольким независимым замерам более надежно, чем по двум.

В таблице 3 приведены величины необратимых радиальных перемещений гребня ключевого сечения плотины Саяно-Шушенской ГЭС за первые 4 года эксплуатации после достижения водохранилищем НПУ.

Из таблицы 3 видно, что за 4 года необратимые перемещения гребня плотины составили 31 мм. Размах полных (измеренных) перемещений за период наполнения от УМО отм. 500 м до НПУ отм. 540 м в эти годы составлял 83 – 91 мм (табл. 1). Очевидно, что нельзя пренебрегать столь значительными необратимыми перемещениями при оценке безопасности плотины.

Таблица 3.

Необратимые радиальные перемещения(мм)

Год	За год	С начала измерений
1990		14,5
1991	7,7	22,2
1992	3,6	25,8
1993	5,2	31,0

Погрешность измерения перемещений с помощью отвесов составляет 0,52 мм, то есть существенно меньше контролируемой величины необратимых перемещений. Поэтому необратимые перемещения гребня приняты в качестве диагностического показателя состояния плотины СШ ГЭС.

Идентификация и калибровка детерминистической расчетной модели.

Выше отмечалось, что критерии безопасности К2 и предупреждающие критерии К1 устанавливаются на основе использования:

либо детерминистических расчетных моделей, уточненных (идентифицированных и откалиброванных) на основе данных натуральных измерений;

либо регрессионных моделей, строящихся на основе статистической обработки данных предыдущих измерений методом наименьших квадратов.

Здесь рассматривается идентификация и калибровка расчетной модели СШ ГЭС. Пример построения регрессионной модели будет приведен ниже.

Внедрение в инженерную практику промышленных конечно-элементных программных комплексов позволяет оперативно производить статические и динамические расчеты гидротехнических сооружений, варьируя в широком диапазоне используемые расчетные модели. Задача инженера — выбрать расчетную модель, достоверно описывающую основные особенности работы сооружения. Этой цели служит идентификация и калибровка.

Идентификация детерминистической расчетной модели включает в себя проверку основных гипотез модели на основе натуральных наблюдений: гипотез среды, гипотез материала, гипотез формы.

Проверка гипотез среды включает в себя оценку сплошности. При обнаружении в плотине трещин или раскрывшихся швов, размеры которых соизмеримы с разрешающей способностью метода расчета (при использовании метода конечных элементов — имею-

ших протяженность порядка размера конечного элемента), эти трещины и швы следует включить в расчетную схему либо в виде прослоек с пониженным модулем деформации, либо в виде поверхностей, на которых могут реализовываться условия односторонней связи (передачи сжатия и не передачи растяжения), либо в виде специальных стыковочных элементов типа элементов Гудмэна-Тэйлора-Брекке.

Гипотезы материала (упругий-неупругий, линейно деформируемый-нелинейно деформируемый). Если наблюдаемые в натуре перемещения (напряжения) обратимы, то есть при одинаковых нагрузках и воздействиях примерно одинаковы, то можно принять, что материал и конструкция работают упруго (квазиупруго). Если материал упруг и при изменении нагрузки на сооружение в k раз во столько же раз меняется величина перемещений (напряжений), то может использоваться простейшая линейно упругая модель.

Гипотезы формы (например, гипотезы о плоском напряженном состоянии, плоской деформации, гипотезы прямых нормалей, плоских сечений) позволяют понизить размерность задачи и существенно упростить расчет. На стадии проекта эти гипотезы вводятся априорно, на стадии эксплуатации их можно проверить. Например, для Саяно-Шушенской плотины можно оценить погрешность выполнения гипотезы плоских сечений в 35 горизонтальных сечениях по данным измерений поперечными гидронивелирами.

Калибровка расчетной модели — уточнение физико-механических параметров расчетной модели с целью наилучшего соответствия между значениями диагностических показателей, измеренными и вычисленными в рамках принятой (идентифицированной) модели.

Алгоритм калибровки заключается в следующем:

вводится мера погрешности (невязка) между расчетными и вычисленными значениями диагностических показателей;

исходным (проектным) значениям физико-механических параметров модели (например, модулям деформации, коэффициентам фильтрации) даются некоторые приращения (вариации);

выполняется серия расчетов при проварьированных значениях физико-механических параметров, и для каждого расчета вычисляется погрешность (невязка) между расчетными и измеренными значениями диагностических показателей;

в качестве уточненных значений физико-механических параметров выбираются те, которые при расчете дали наименьшую разницу (невязку) между измеренными и вычисленными диагностическими показателями.

Примечания.

1. Варьирование физико-механических параметров расчетной модели должно производиться в разумных пределах, так чтобы значения откалиброванных параметров оставались реальными и не выходили за пределы возможной погрешности их определения (например, не может модуль деформации скалы основания в результате калибровки измениться на порядок по сравнению с измеренным в натуре);

2. В качестве меры погрешности обычно принимается величина среднеквадратического отклонения $\Phi(E_{пл}, E_{осн})$ расчетного диагностического показателя от измеренного по I циклам измерений в J точках наблюдения:

$$\Phi(E_{пл}, E_{осн}) = \sqrt{\frac{1}{IJ} \sum \sum (F_{расч} - F_{изм})^2},$$

Ij

где $E_{пл}$, $E_{осн}$ — аргументы функционала невязки Φ , в данном случае модули деформации плотины $E_{пл}$ и основания $E_{осн}$.

3. Для минимизации функционала Φ может использоваться любой алгоритм покоординатного спуска, например, метод локальных вариаций.

Расчетная схема плотины Саяно-Шушенской ГЭС на различных этапах проектирования, строительства и эксплуатации неоднократно уточнялась.

Проектные расчетные схемы.

На стадии технического проекта был использован метод пробных нагрузок (арок-консолей), разработанный в Бюро Мелиорации США.

Основные гипотезы метода:

гипотеза среды — тело плотины сплошное, нет трещин и швов;

гипотеза материала — упругий, линейно деформируемый;

гипотеза формы — плотина есть оболочка средней толщины типа Э.Рейсснера, справедлива гипотеза прямых нормалей, учитываются деформации поперечного сдвига;

податливость основания — основание рассматривается как упругая линейно деформируемая опора, податливость которой определяется по схеме Фогта-Буссинеска.

Плотина схематизировалась как симметричная относительно ключевого сечения. Число расчетных арок — пять, расчетных консолей на половине плотины — шесть.

На стадии рабочих чертежей (1972 — 1980 г.г.) были использованы две более совершенные расчетные модели, реализованные на ЭВМ в виде программных комплексов:

программа ТОРМАК (теория оболочек, метод арочно-консольных направлений);

трехмерная задача линейной теории упругости, метод конечных элементов (программы: ПРОЗА — пространственная задача, АО НИИЭС; СИПРАМАК — система программ расчета массивных конструкций, Ленгидропроект).

Метод расчета, реализованный в программе ТОРМАК, по своим гипотезам мало отличался от гипотез метода пробных нагрузок. Основное различие заключалось в том, что применение ЭВМ позволило уточнить результаты расчетов за счет более густой сетки арок и консолей. В проектных расчетах плотины по программе ТОРМАК принималось на полной развертке плотины 15 арок и 23 консоли. Кроме того, значительное снижение трудоемкости расчетов позволило уточнить расчетное обоснование, разбив период строительства на несколько этапов и выполнив серию расчетов с учетом последовательности возведения и нагружения плотины.

Переход на расчетную модель трехмерной задачи теории упругости позволил отказаться от гипотезы прямых нормалей, справедливую для тонких арочных плотин (и спорную для толстой арочно-гравитационной плотины СШ ГЭС), а также включить в расчетную область примыкающий к сооружению скальный массив. Тем самым удалось оценить напряженное состояние не только плотины, но и скального основания и существенно уточнить влияние упругой заделки в скалу на напряженное состояние плотины. Кроме того, трехмерная расчетная модель позволила учесть неоднородность материала бетона и скалы, появилась возможность учитывать разные величины модулей деформации для разных зон конструкции и основания.

Во всех проектных расчетах для бетона принимался (в соответствии с требованиями действовавших норм СНиП II-54-77) конструкционный модуль деформации бетона $E_b = 25\ 000$ МПа, для скалы $E_0 = 17\ 000$ МПа.

Основным недостатком проектных расчетов плотины СШ ГЭС был неучет возможного возникновения несплошностей в системе плотина-основание (образование трещин, раскрытие швов). Приближенный прогноз трещинообразования в теле плотины делался по размеру зон растяжения в линейно упругих расчетах. Для плотины СШ ГЭС учет трещинообразования в расчетных схемах плотины оказался весьма существенным (см. ниже) и прогноз размеров трещин по зоне растяжения оказался недостаточно достоверным. Однако уровень развития методов расчета тех лет не позволил выполнить расчеты с учетом возникновения и развития трещин в системе «плотина-основание».

В проектных линейно упругих расчетах в арочно-гравитационной плотине СШ ГЭС максимальные главные напряжения имели место на контакте плотины с основанием: максимальный главные сжимающие на низовой грани (точка $A_{\text{низ}}$), максимальные главные

растягивающие напряжения на верховой грани плотины (точка $A_{\text{верх}}$). В таблице 4 показано, как менялись максимальные расчетные напряжения в плотине при уточнении проектных расчетных моделей в точках $A_{\text{верх}}$ и $A_{\text{низ}}$.

Таблица 4

Главные напряжения (МПа)

Метод расчета	$A_{\text{низ}}$	$A_{\text{верх}}$
Пробных нагрузок	- 8,9	+ 1,5
ТОРМАК	- 8,0	+ 2,9
ПРОЗА	- 10,8	+ 5,6

Из таблицы 1 видно, что с уточнением расчетной схемы главные сжимающие напряжения меняются не более чем на 20 – 25%, главные растягивающие напряжения в точке Аверх (верховая грань, контакт бетон-скала) возросли в несколько раз (с 1,5 МПа до 5,6 МПа). Растягивающие напряжения в более точных конечно-элементных расчетах значительно превысили прочность бетона плотины на растяжение. Согласно этим расчетам, образование трещины на контакте бетон-скала со стороны верховой грани плотины неизбежно. Опыт начальной эксплуатации плотины подтвердил это. На стадии проекта по величине зоны растяжения на контакте бетона и скалы прогнозировалась глубина проникновения трещины под верховой столб плотины не более чем на 10 м, на практике горизонтальная трещина на контакте бетон-скала распространилась на треть сечения плотины и глубина ее достигла 30 – 35 м.

Расчетные схемы на стадии начальной эксплуатации. Натурные наблюдения за плотиной в первые годы эксплуатации показали, что нарушения сплошности под верховой гранью плотины существенно превосходят проектные прогнозы. С целью более достоверной оценки реального напряженного состояния плотины генеральным проектировщиком в 1994 году была начата серия расчетов плотины на прочность по программе СИПРАМАК. Главные задачи, которые ставились в этих расчетах: а) учесть возможное возникновение трещин в плотине и основании, а также возможное раскрытие швов; б) учесть влияние реальной последовательности возведения и нагружения плотины на формирование ее напряженно-деформированного состояния (так как реальная последовательность возведения существенно отличалась от проектной). Учитывая особую ответствен-

ность сооружения, в 1996 г было принято решение провести независимо аналогичную альтернативную серию расчетов по другим программам (программный комплекс COSMOS-M) и другими специалистами (ЦСГНЭО).

Неупругие расчеты плотины 1994 – 1998 г.г., учитывающие реальный сценарий возведения и нагружения, а также возможность возникновения нарушений сплошности в плотине и основнии позволили существенно сблизить результаты расчетов и данные натурных наблюдений. Характер трещинообразования в расчетах и натуре оказался схожим. Однако различие в величине максимальных главных сжимающих напряжений (8 – 10 МПа) в основной и альтернативной расчетной моделях достигало 1,5 МПа. Таким образом, погрешность в определении максимальных напряжений, достигнутая в расчетах составила приблизительно 20%.

Простейшая процедура калибровки расчетной модели (без использования формального математического аппарата минимизации функционала невязки).

Таблица 5

Расчетные радиальные перемещения до калибровки (мм)
($E_{пл}=3.0 \cdot 10^4$ МПа, $E_0=2.0 \cdot 10^4$ МПа).

УВБ отм. 500м				УВБ отм. 505м			
Отметка	18 секция	33 секция	45 секция	18 секция	33 секция	45 секция	
540	57	87	61	66	99	71	
440	43	61	45	49	68	51	
344	11	15	11	12	17	12	

УВБ отм. 515м				УВБ отм. 525м			
Отметка	18 секция	33 секция	45 секция	18 секция	33 секция	45 секция	
540	85	122	90	107	150	114	
440	58	80	60	67	93	70	
344	14	18	14	15	21	15	

УВБ отм. 540м				Собственный вес плотины			
Отметка	18 секция	33 секция	45 секция	18 секция	33 секция	45 секция	
540	150	202	158	- 57	- 81	- 58	
440	84	115	87	- 29	- 41	- 29	
344	18	25	18	- 5	- 8	- 6	

В качестве проектного расчета примем линейно упругий расчет плотины СШ ГЭС, выполненный методом конечных элементов в рамках теории оболочек средней толщины [4]. В таблице 5 приведены величины расчетных радиальных перемещений от действия собственного веса и гидростатического давления верхнего бьефа при разных УВБ. Расчетный модуль деформации основания

$E_{осн} = 2,0 \cdot 10^4$ МПа, модуль деформации плотины $E_{пл} = 3,0 \cdot 10^4$ МПа (в соответствии с требованиями СНиП 2.06.06-85 «Плотины бетонные и железобетонные»).

Сравним расчетные и измеренные значения приращений радиальных перемещений.

С помощью линейной интерполяции и экстраполяции данных таблицы 5 вычислим расчетные приращения радиальных перемещений при подъеме УВБ от отм.500 до НПУ (отм.540 м) и ФПУ отм.543 м), табл. 6.

Таблица 6

Приращения расчетных радиальных перемещений до калибровки (мм)
($E_{пл} = 3,0 \cdot 10^4$ МПа, $E_{осн} = 2,0 \cdot 10^4$ МПа).

Изменение УВБ от отм.500м до отм.540м Изменение УВБ от отм. 500м до отм.543м

Отметка	18 секция	33 секция	45 секция	18 секция	33 секция	45 секция
540	93	115	97	103	126	106
440	41	54	42	45	59	46
344	7	12	5	8	13	6

В качестве данных натуральных измерений, по которым производится калибровка возьмем выборку из данных измерений за 1993 и 1994 гг, приведенных в таблице 1, см. таблицу 7:

Таблица 7

Данные натуральных измерений.

Приращения радиальных перемещений δ Хизм (мм)
при подъеме УВБ от отм.500м до отм. 540м.

1993 год				1994 год		
Отметка	18 секция	33 секция	45 секция	18 секция	33 секция	45 секция
540	66,1	90,9	59,8	61,7	83,1	51,8
440	31,7	45,3	30,9	30,3	42,3	28,5
344	7,1	11,2	6,9	7,2	10,7	6,6

Примечание. Сравнивая данные таблиц 6 и 7 легко увидеть, что данные расчетов систематически превосходят данные измерений, то есть реальная система плотина-основание жестче проектной.

Известно, что изменение податливости (модулей деформации) материалов плотины и основания на 10 – 30% практически не сказывается на напряжениях, перемещения же более чутко реагируют на изменения модулей (например, в линейно упругих системах при уменьшении модуля на 20% перемещения увеличатся на 25%). Пер-

вые же сопоставления измеренных и прогнозируемых проектными расчетами перемещений показали, что расчетные приращения перемещений всегда превосходят измеренные примерно на 30%. На этом основании экспертами (специалистами Ленгидропроекта и СШ ГЭС) был сделан вывод о том, что реальная жесткость (конструкционный модуль деформации) материала плотины выше регламентированного нормами. Поэтому, начиная с 1994 г, во всех расчетах реальный начальный модуль деформации материала плотины был принят $E_6 = 32\ 000$ МПа (вместо рекомендованной нормами $25\ 000$ МПа). Эта корректировка, по существу, была калибровкой расчетной модели, выполненная экспертным путем.

Сравнивая данные таблиц 6 и 7, видно, что расчетные и измеренные перемещения существенно различаются, относительные погрешности расчетного значения приращения радиального перемещения на гребне ключевой секции:

$$\text{для 1993 г } \Delta_1 = 115 / 90,9 = 1,27;$$

$$\text{для 1994 г цикла наблюдений } \Delta_2 = 115 / 83,1 = 1,38$$

Поскольку расчетная модель линейно упругая, то при одновременном увеличении модулей E_6 и E_0 в k раз, в $1/k$ раз уменьшатся прогибы.

$$\text{Возьмем } k = (\Delta_1 + \Delta_2) / 2 = 1,32$$

— что означает, что новые (откалиброванные) модули деформации плотины и основания соответственно примут значения:

$$E_{пл} = 1,32 \times (3 \cdot 10^4) = 3,9 \cdot 10^4 \text{ МПа, } E_{осн} = 1,32 \times (2 \cdot 10^4) = 2,6 \cdot 10^4 \text{ МПа.}$$

В силу линейности расчетной модели расчетные приращения радиальных перемещений после калибровки можно получить делением всех данных таблицы 6 на 1,32, см. таблицу 8.

Таблица 8.

Приращения расчетных радиальных перемещений после калибровки (мм)
($E_{пл} = 3,9 \cdot 10^4$ МПа, $E_0 = 2,6 \cdot 10^4$ МПа).

Отметка	Изменение УВБ от отм. 500м до отм. 540м			Изменение УВБ от отм. 500м до отм. 543м		
	18 секция	33 секция	45 секция	18 секция	33 секция	45 секция
540	71	87	73	78	96	80
440	31	41	32	34	45	35
344	5	9	4	6	10	5

Сравнивая между собой измеренные в 1993-94г.г. приращения радиальных перемещений (таблица 7) с расчетными до калибровки (таблица 6) и после калибровки (таблица 8), легко заметить, что после даже столь грубой процедуры калибровки данные расчета и натуре сблизились.

Примечания

1. Значение конструкционного модуля деформации плотины СШ ГЭС после калибровки ($3,9 \cdot 10^4$ МПа) не противоречит реальности, так как модуль деформации бетона плотины СШ ГЭС в образце выше $4 \cdot 10^4$ МПа.

2. Легко заметить, что погрешность модели существенно больше возле правого берега (секция 45). Продолжая процесс калибровки (введя разные модули скалы для правого и левого берегов), можно в рамках рассмотренной выше относительно простой прогнозной модели добиться погрешности прогноза 10 – 12 мм.

3. Построенная прогнозная модель весьма груба (абсолютная погрешность в 21 мм эквивалентна изменению УВБ на 5 м), так как прогноз производится на основе расчета на одно (главное) воздействие — гидростатическое давление верхнего бьефа. Для плотины Саяно-Шушенской ГЭС вторыми по значимости являются температурные воздействия (сезонные колебания температур). Перемещения от температур достигают 30% суммарных перемещений. Учет в прогнозной модели температурных воздействий позволяет существенно повысить точность прогноза.

4. Более строго задачи калибровки рассмотрены, например, в [4, 5].

5. Аналогичную процедуру калибровки упругой расчетной модели можно проделать не только для перемещений, но, например, для напряжений. При этом модули деформации плотины окажутся отличными от модулей в расчетной модели, откалиброванной по перемещениям (как правило они будут больше). В этой ситуации никакого противоречия не содержится: откалиброванные по перемещениям модули деформации представляют интегральную характеристику для всего сооружения (конструкционный модуль), учитывающую неучтенные в модели нарушения сплошности (например, наличие швов), а откалиброванные по напряжениям модули — локальные характеристики зоны точки измерения, учитывающие зональное распределение материала.

Прогнозные модели.

Детерминистическая прогнозная модель.

Простейшая детерминистическая прогнозная модель для радиальных перемещений — данные таблицы 5. Путем интерполяции данных таблицы 5 можно (грубо) прогнозировать радиальные перемещения при УВБ между отм. 500 м и 540 м. Пусть, например, в день проведения замеров УВБ был на отм. 527,5 м. Тогда линейная интерполяция по данным таблицы 5 даст прогнозируемое значение радиальных перемещений, равное полусумме перемещений при УВБ отм. 540 м и при УВБ отм. 515 м таблицы (так как $527,5 = (540 + 515)/2$). Более подробные таблицы дадут более достоверный прогноз, более совершенная схема — службе эксплуатации иметь постоянно действующую математическую модель и в день проверки выполнять необходимые расчеты на реальные нагрузки и воздействия.

Регрессионная прогнозная модель.

Регрессионные прогнозные модели нашли широкое применение в практике контроля состояния ГЭС. В настоящее время построение этих моделей при наличии ПЭВМ доступно службе эксплуатации,

так как имеется большое количество промышленных программных продуктов, позволяющих реализовать эту модель (например, Excel, Statistic, Matlab).

Построение регрессионной прогнозной модели рассмотрим применительно к введенному диагностическому показателю - углу поворота φ горизонтальных сечений плотины.

Для построения статистической (регрессионной) прогнозной модели для угла поворота контактного сечения ключевой консоли плотины (секции 33) с основанием взяты данные измерений относительных осадок марок поперечного гидронивелира, расположенного в этом сечении, за период 1991—1994 гг. Замеры относительных осадок и вычисление по ним углов производились не реже одного раза в месяц. Поэтому базовая последовательность включала 50 значений углов (за 4 года наблюдений при УВБ, менявшемся в диапазоне от м. 499 м и от м. 540 м). Некоторые данные, вошедшие в базовую последовательность, приведены в таблице 2.

При построении формулы для вычисления угла φ было принято, что угол поворота сечения зависит от трех аргументов и является аддитивной функцией от них:

$$\varphi(Z, T, t) = \varphi_1(Z) + \varphi_2(T) + \varphi_3(t),$$

где $\varphi_1(Z)$ — слагаемое, зависящее от УВБ (Z), аппроксимировалось многочленом целой степени от Z :

$$\varphi_1(Z) = a_0 + a_1 Z + a_2 Z^2 + a_3 Z^3 + \dots,$$

необратимое слагаемое $\varphi_3(t)$ аппроксимировалось суммой экспоненциальных функций; слагаемое, зависящее от температур среды $\varphi_2(T)$, для рассматриваемого сечения оказалось малозначащим, так как сечение находится в зоне практически постоянных температур, глубоко под водой.

Статистическая обработка базовой последовательности методом наименьших квадратов по стандартной программе для ПЭВМ дала следующую формулу для вычисления угла φ :

$$\varphi(Z, t) = 454,858 - 0,785137 Z - 0,00025831 Z^2 + 1,31656 \exp(-0,0025t) + 9,21594 \exp(-0,00215t). \quad (6)$$

Среднеквадратическая погрешность прогноза (1) составила $\sigma = 1,83$ сек (при погрешности измерений и вычислений угла 0,7 сек). Точность прогноза такова, что «улавливает» изменения УВБ на 1 – 2 м. Столь высокая точность прогноза и измерения (вычисления) угла φ делает его одним из наиболее ценных эксплуатационных диагностических показателей для плотины СШ ГЭС.

Критериальные значения диагностических показателей.

Радиальные перемещения и их приращения.

Сформулируем предупредительный критерий K1 с использованием расчетной откалиброванной модели.

Радиальные перемещения в девяти точках плотины при различных УВБ получим делением данных таблицы 5 на калибровочный коэффициент $k = 1,32$:

Таблица 9.

Расчетные радиальные перемещения после калибровки (мм)

($E_{пл} = 3.9 \cdot 10^4 \text{ МПа}$, $E_0 = 2.6 \cdot 10^4 \text{ МПа}$).

УВБ отм. 500м

УВБ отм. 505м

Отметка	18 секция	33 секция	45 секция	18 секция	33 секция	45 секция
540	43,2	65,9	46,2	50,0	75,0	53,8
440	32,6	46,2	34,1	37,1	51,5	38,6
344	8,3	11,4	8,3	9,1	12,9	9,1

УВБ отм. 515м

УВБ отм. 525м

Отметка	18 секция	33 секция	45 секция	18 секция	33 секция	45 секция
540	64,4	92,4	68,2	81,1	113,6	86,4
440	43,9	60,6	45,4	50,8	70,4	53,0
344	10,6	13,6	10,6	11,4	15,9	11,4

УВБ отм. 540м

Собственный вес плотины

Отметка	18 секция	33 секция	45 секция	18 секция	33 секция	45 секция
540	113,6	153,0	119,7	- 43,2	- 61,4	- 43,9
440	63,6	87,1	65,9	- 22,0	- 31,1	- 22,0
344	13,6	18,9	13,6	- 3,8	- 7,3	- 4,5

Можно показать, что допустимая погрешность принятой грубой расчетной прогнозной модели $\delta = 21$ мм.

Величину $F_{\text{прог}}$, входящую в критериальное отношение (4), будем для текущего УВБ принимать путем интерполяции данных таблицы 9, а погрешность примем равной 21 мм.

Углы поворота горизонтальных сечений плотины.

В качестве эксплуатационных диагностических показателей были введены углы поворота горизонтальных сечений φ . Выше была дана прогнозная модель, то есть на основе статистической обработки данных натуральных измерений выведена формула (6), позволяющая со среднеквадратической погрешностью $\sigma = 1,83$ сек вычислить $\varphi_{\text{прог}}$ (УВБ, t) — угол поворота горизонтального сечения ключевой секции плотины на отм. 308 м (вблизи контакта плотины со скальным основанием) при различных УВБ и времени (в днях) от начального цикла базовой последовательности.

Примечание. Приведенные выше критерии являются лишь примерами, иллюстрирующими алгоритмы их построения. Реальные критерии, используемые в практике контроля плотины СШ ГЭС, строятся по аналогичным алгоритмам, однако расчетные модели более сложны и подробны.

Необратимые перемещения. Вопрос о критериях безопасности плотины СШ ГЭС по такому важному диагностическому показателю как необратимые перемещения до сих пор не решен. Однако на примере простой модельной задачи приведем некоторые соображения, иллюстрирующие возможный подход к решению этой задачи.

Если в процессе начальной эксплуатации выявлены значительные необратимые перемещения, не учтенные в проектных расчетах, то возможны две схемы вычисления диагностических показателей и назначения их критериальных значений.

Первая схема реализуется в том случае, когда удастся выявить причину возникновения необратимых перемещений (например, образование и развитие трещины на контакте сооружения и основания) и подобрать расчетную неупругую модель, позволяющую учесть эти необратимые перемещения. Выявив причину, необходимо выполнить все расчеты сооружения в рамках уточненной расчетной модели, вычислить уточненные напряжения и перемещения, включающие в себя дополнительные, возникшие вследствие необратимых перемещений, и использовать их при проверке критериальных соотношений по напряжениям и перемещениям. Таким образом, первая схема фактически сводится к идентификации расчетной модели и вычислению таких диагностических показателей, как напряжения и перемещения в рамках новой расчетной модели при сохранении проектных критериальных значений K_1 и K_2 .

Вторая схема имеет место, когда причину возникновения необратимых перемещений установить не удастся. В этом случае можно использовать два способа:

на основе статистической обработки данных натуральных измерений установить корреляционную связь между необратимыми перемещениями и основными проектными диагностическими показателями, например напряжениями, и использовать установленную связь для прогноза суммарных напряжений от проектных нагрузок и воздействий и неprojektных необратимых перемещений; при таком подходе в критериальных соотношениях K_1 , K_2 будут фигурировать напряжения, определенные по корреляционной формуле;

необратимые перемещения можно рассмотреть как дополнительное внешнее воздействие (вынужденные перемещения конструкции), учитываемое в рамках проектной расчетной модели и вызывающее до-

полнительные (не учитывавшиеся при проектировании) напряжения; эти дополнительные напряжения следует прибавить к напряжениям от нагрузок и воздействий, учитывавшихся при проектировании.

Ниже рассматривается последний случай для линейно упругих расчетных моделей.

Алгоритм (порядок действий) назначения критериальных значений для необратимых перемещений при использовании линейно упругих расчетных моделей следующий:

из базовой (обучающей) последовательности натуральных измерений полных перемещений $\{F\}$ выделить необратимую компоненту и образовать базовую последовательность необратимых перемещений $\{F_{\text{необр}}\}$; пример выделения из суммарного перемещения его необратимой составляющей был рассмотрен выше;

на основе статистической обработки $\{F_{\text{необр}}\}$ построить прогноз необратимых перемещений $F_{\text{необр}}(t)$, где t — время;

выполнить расчеты сооружения на расчетное воздействие и некоторое (например, единичное) значение необратимого перемещения и найти предельно допустимую величину необратимого перемещения (или время ее достижения), при котором проектные диагностические показатели (например, суммарные напряжения от внешних нагрузок и необратимых перемещений), достигнут своих критериальных значений.

Специальные расчеты для назначения критериальных значений необратимых перемещений плотины очень трудоемки (и по сей день для плотины СШ ГЭС не проведены). Поэтому рассмотрим описанный выше алгоритм на простом примере балки прямоугольного сечения $b \times h$ длиной l , жестко заземленной по концам и нагруженной равномерно распределенной нагрузкой p . В рассматриваемом примере напряжения как от внешних воздействий, так и от необратимых перемещений вычисляются по простым формулам сопротивления материалов.

Известно, что в статически неопределимых конструкциях смещения опор вызывают дополнительные напряжения, которые (для линейно деформируемых систем) складываются с напряжениями от внешних расчетных нагрузок. Поэтому предположим, что наиболее вероятный сценарий ЧС — нарушение прочности балки вследствие роста необратимых перемещений.

Для определенности примем: интенсивность расчетной нагрузки $p = 10$ кг/см, пролет балки $l = 600$ см, высота сечения $h = 100$ см, ширина сечения $b = 20$ см, модуль Юнга материала балки $E = 6000$ МПа; расчетное сопротивление материала балки $R = 100$ МПа.

Введем обозначения:

y — вертикальное перемещение (прогиб) балки,

M — максимальный изгибающий момент в балке (в опорных сечениях),

σ — максимальное напряжение в балке (в точках пересечения наружных граней балки с опорами).

Пусть натурными наблюдениями зафиксировано, что:

левая опора балки (по неустановленной причине) смещается по вертикали по зависимости $y_n = 0,125t$ (прогноз осадок левой опоры);

правая опора балки смещается вниз по зависимости $y_n = 0,225t$ (прогноз осадок правой опоры), где t — время в годах от начала наблюдения.

Требуется назначить предельно допустимые значения для необратимых смещений опор из условия ненарушения прочности балки (в данном примере не превышения R).

Первый этап расчета: выделение из необратимого смещения его части — смещения сооружения (балки) как жесткого целого, так как перемещения как жесткого целого не вызывают напряжений (и моментов).

В рассматриваемом примере выделение смещения как жесткого целого элементарно: можно считать, что левая опора неподвижна, а правая смещается на величину

$$y = y_n - y_n = 0,225t - 0,125t = 0,1t. \quad (a)$$

В рассматриваемой модельной задаче зависимость (а) является прогнозом необратимых перемещений правой опоры.

Из сопротивления материалов известно, что под действием равномерно распределенной нагрузки и смещений опор (без их поворотов) в балке прямоугольного сечения максимальные напряжения возникают в опорных сечениях и определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2} \quad (b)$$

где M — изгибающий момент в опорном сечении.

Поскольку рассматриваемая балка является линейно упругой системой, то:

$$M = Mp + m y, \quad (c)$$

где y — вертикальное перемещение опоры, вычисляется по зависимости (а); Mp — изгибающий момент от нагрузки p :

$$Mp = pl^2/12, \quad (d)$$

m — изгибающий момент от единичного смещения левой (правой) опоры:

$$m = \frac{E b h^3}{2 l^2} \quad (e)$$

С учетом (а), (d) и (е) формула (с), примет вид:

$$M = \frac{p l^2}{12} + \frac{E b h^3}{2 l^2} \times 0,1 t \quad (f)$$

Формула для вычисления напряжений в опорах (в) с учетом (f) примет вид:

$$\sigma = \frac{p l^2}{2 b h^2} + 0,3 \frac{E h}{l^2} \quad (g)$$

Зависимость (g) позволяет решить поставленную задачу.

Вычислим напряжение (при $t = 0, 10$ лет и 20 лет, используя (g) и принятые численные значения p, l, b, h, t :

$$t = 0 \quad \sigma = 90 \text{ МПа} < R = 100$$

$$t = 10 \quad \sigma = 95 \text{ МПа} < R = 100$$

$$t = 20 \quad \sigma = 100 \text{ МПа} = R$$

Приведенные выше числовые значения показывают, что балка, запроектированная на действие нагрузки p с запасом прочности $100/90 = 1,11$, через 20 лет исчерпает свою прочность. При этом предельно допустимое значение для необратимого смещения опоры соответствует $t = 20$ лет и согласно (а) составляет: $U_{\text{пред}} = 0,1 t = 2$ см.

Для реальных сооружений алгоритм может быть аналогичным, однако расчеты, как правило, производятся численно, методом конечных элементов, и поэтому более трудоемки.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Брызгалов В.И. «Из опыта создания и освоения Красноярской и Саяно-Шушенской гидроэлектростанций». Красноярск: 1999.
2. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений.
3. СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования». М.: Госстрой СССР. 1989.
4. Гордон Л.А., Соколовский И.К., Цовьякян Л.Х. «Прогноз перемещений арочной плотины на основе идентифицированной прогнозной модели». - //Известия ВНИИГ. 1989. т.214.
5. Беллендир Е.Н., Векшина Т.Ю., Прокопович В.С. «Математическое моделирование деформаций плотины Колымской ГЭС в период строительства и эксплуатации». //Известия ВНИИГ. 1999. т.235.

ОПЫТ ВИЗУАЛЬНЫХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ ГЭС, ГАЭС И ТЭЦ

Рахманова А.А., кандидат техн. наук (Мосгидросталь)

Визуальные и инструментальные обследования

Опыт обследований разных видов механического оборудования накопился очень большой и, к сожалению, в основном, отрицательный. Большая часть наших электростанций, особенно больших, строилась, примерно, в одно время, в одно время они и состарились. К сожалению, эта старость конструкций пришлась на тяжелое для страны время, когда на замену конструкций, на их капитальные ремонты, на поддержание нормального состояния и иногда даже на проведение обследования постоянно не хватает денег. Многие из конструкций выработали свой ресурс, и после обследования приходится решать проблему, как продлить их жизнь за пределами ресурса.

Таким образом, необходимо констатировать, что в настоящее время приходится заниматься, в основном, обследованием конструкций старых, доживающих или уже проживших свой век, что накладывает определенные особенности на эти обследования.

Несколько слов о чертежах и расчетах конструкций. Эти документы обязательно должны иметься на станциях, но чаще всего их нет. А без этих документов очень трудно разобраться, какие ситуации для конструкций являются штатными, а какие нештатными, на которые они не были рассчитаны, но работали. Иногда бывает, что конструкции давным-давно работают в условиях, на которые совсем не были рассчитаны, да и сама конструкция, бывает, в процессе эксплуатации и регламентных ремонтов претерпевает довольно значительные конструктивные изменения. А в этих изменениях условий работы или конструктивных элементах зачастую кроются причины неприятностей и повреждений, случающихся с конструкциями. Поэтому столь велика сейчас необходимость бережного отношения к чертежам конструкций старых станций и обеспечения их сохранности.

Для новых конструкций причинами повреждений могут быть такие: ошибки проектирования при выборе расчетной схемы работы, нерасчетные нагрузки, чрезвычайные ситуации, нерасчетные ледовые условия, не учитываемые обычно при проектировании вибрации конструкций.

Пример 1. На водосливной плотине Назаровской ГРЭС шесть водосливных пролетов, из которых четыре — глухие, без затворов, а два оснащены затворами. Затворы — плоские, скользящие, с водосливными козырьками, позволяющими осуществлять перелив воды через них. Отметка верха затворов в опущенном состоянии совпадает с отметкой гребней водосливов в глухих пролетах. Когда уровень воды выше гребня, вода переливается через гребни водосливов и через козырьки затворов, а когда уровень воды ниже гребней, вода пропускается из-под затворов, т.к. санитарные попуски в реку обязательны. Получается что, несмотря на широкий фронт «глухих» водосливов, затворы практически всегда работают в текущей воде, т.е. в очень тяжелых условиях, т.к. обычно для затворов наиболее характерными являются положения «полностью открыто» и «полностью закрыто». В отдельных случаях возможен был пропуск воды одновременно как под затвором, так и поверх него. Такие затворы особенно нагружены гидравлически и динамически. При проектировании затворы считались подтопленными нижним бьефом, тогда как в натуре нижний бьеф отгоняется струей. Кроме того, при эжекции нижней струи за счет верхней поток в нижней части течет с большой скоростью, с такой же скоростью ударяют в низ затвора попадающие в поток плавающие тела — бревна, льдины и т.д. Все эти обстоятельства привели к тому, что за 40 лет работы затворы получили многочисленные повреждения несущей конструкции, особенно нижней части, и пришли в аварийное состояние.

Пример 2. В 50-60-е годы для плоских скользящих затворов широко применялись опорные полозья с вкладышами из ДСП, коэффициент трения скольжения которых по стали был принят 0,09 на основании лабораторных испытаний. Впоследствии более корректные лабораторные и натурные эксперименты показали, что этот коэффициент, во-первых, сильно зависит от нагрузки на опорные полозья, а во-вторых, есть «коэффициент трения скольжения движения» и «коэффициент трения скольжения покоя», значительно отличающиеся друг от друга. Максимальный коэффициент трения при трогании с места оказался гораздо выше заложенного в проект (близок к 0,3). В результате заниженного коэффициента, заложенного в проект, грузоподъемность подъемных механизмов была выбрана недостаточной, и на многих ГЭС, в частности, на Волжских, где скользящих затворов очень много, были неприятности с маневрированием затворов. Пришлось заменять многие вкладыши в опорных полозьях, заваривать трещины в несущих конструкциях затворов, возникавшие в ре-

зультате того, что для возможности трогания с места затворы иногда поддерживали с одной стороны, а затем с другой.

Пример 3. На Рубиловской ГЭС (небольшая ГЭС в Псковской области) водосливная плотина была оснащена тремя сегментными затворами. Водоохранилище перед ГЭС практически отсутствовало, и в период ранних паводков, когда река Утroyа была еще подо льдом и затворы тоже скованы льдом, вода переливалась через верх затворов и грозила залить прилегающие селенья. Обогрева затворов и других мероприятий для поддержания майны перед затворами не было предусмотрено проектом. Во время больших паводков для быстрого сброса воды из водоохранилища лед перед затворами неоднократно приходилось взрывать, в результате одной из таких операций один из затворов был разрушен — ноги оторвались от пролетного строения.

Пример 4. Затворы водосливной плотины Воткинской ГЭС для большей надежности работы уплотнений были оснащены двухрядными боковыми уплотнениями. При этом первое по течению уплотнение соединено с ножевым уплотнением, составляя общий контур, а второе - не соединено, поэтому вода, попавшая между двумя уплотнениями, сливается вниз и попадает в нижнюю часть паза. Если первое уплотнение имеет какие-то протечки, то вода попадает между уплотнениями, подпирает первое уплотнение и уменьшает его прижим давлением верхнего бьефа, увеличивая протечки. Затем вся эта вода стекает в нижнюю часть паза. А поскольку пазы этих затворов имеют очень большой размер по течению (2650 мм), то воды в нижней части пазов скапливается много, и она, замерзая, давит на опорные стойки, деформируя их. В процессе последнего обследования затворов обнаружилось, что почти у всех из восьми затворов опорные стойки в нижней части, а у некоторых затворов в средней части потеряли устойчивость.

Для старых конструкций, проработавших 40 лет и более, надежность в большей мере начинает зависеть от факторов, связанных со временем их работы: коррозия, износ, усталость металла, истирание, изменение геометрии и возникновение разного рода люфтов, изменение расчетной схемы работы, подвижки всего массива, на котором установлена конструкция и т.п.

Пример 1. На Чайковском шлюзе основные двустворчатые ворота нижних голов — самые высокие двустворчатые ворота в бывшем СССР — за 30 — 40 лет работы имели много трещин и других повреждений несущей конструкции. Инструментальное обследование ворот показало, что с низовой стороны ворот в некоторых местах

коррозионные язвы имели глубину, достигающую 30% толщины металла. Это дало основание для признания состояния ворот аварийным, после чего была проведена их частичная реконструкция. В настоящее время выполнен проект новых ворот, и в ближайшее время они будут заменены.

Пример 2. На Краснополянской ГЭС поверхность водосливной плотины облицована металлом во избежание истирания наносами. Тем не менее, при вырубке деревьев на берегу водохранилища браконьерами грунтом береговой зоны (с большим содержанием абразивных включений) металлическая облицовка водосливной поверхности плотины ежегодно истирается до бетона.

Пример 3. Сегментные затворы водослива головного сооружения Невинномысского канала (Ставропольский край) проработали почти 50 лет без серьезных ремонтов и реконструкции; ремонтный затвор, необходимый для проведения ремонтов, в свое время не был установлен на сооружении, а лежал на берегу для транспортировки его в случае необходимости к соответствующему пролету наплаву. За время эксплуатации сегментные затворы без поддержания на должном уровне противокоррозионной защиты сильно проржавели, при этом шарнирный узел соединения ног затворов с пролетными строениями потерял свою геометрическую неизменяемость. В 1996 году после инструментального обследования затворов было сделано заключение об аварийном состоянии затворов и о необходимости их срочной поочередной замены, но до проведения замены затворы, особенно два из шести, должны быть срочно отремонтированы. Ремонт не был произведен, т.к. протока к лежащему на берегу ремонтному затвору заросла растительностью и заилилась, и в 1998 году один из указанных затворов в начале паводка был поврежден — одна из ног отделилась от пролетного строения и упала вниз, пролетное строение расперло между бычками.

Из всех факторов, характерных для старых конструкций, необходимо выделить коррозию. До определенного времени, при выполнении необходимых мер защиты конструкции от коррозии или без них, коррозия разрушает конструкцию примерно с постоянной скоростью, но по достижении этого времени коррозия начинает съедать конструкцию обвально.

Пример. Напорные трубопроводы Истринского гидроузла проложены в подземной бетонной галерее. Трубопроводы проработали более 65 лет. Еще 5 лет назад трубопроводы в результате инструментального обследования и динамических испытаний были признаны удовлетворительными. За прошедшее время трубопроводы были по-

крашены композицией ГРЭМИРУСТ поверх старой битумной краски, а кроме того, большое количество лишних компенсаторов было заварено толстыми некачественными швами. В результате этих мероприятий новая краска, несовместимая со старой, образовала пузыри, в которых пары воды с возникшим «парниковым эффектом» привели к усиленной коррозии. Кроме того, некачественные пористые толстые швы компенсаторов, содержащие в своих порах пары воды, также инициировали усиленную коррозию. При испытаниях и обследовании 2000 года трубопроводы уже были признаны находящимися в неудовлетворительном состоянии и подлежащими замене.

Натурные испытания

При натурных испытаниях конструкций статических или динамических самое главное не аппарата, хотя она, конечно, и важна, а важно при испытаниях охватить все возможные условия работы данной конструкции, причем речь идет не только о всех возможных режимах работы агрегатов или уровнях бьефов, а и о всех сопутствующих условиях. Например, при испытаниях кранов приходится учитывать не только вес поднимаемого груза, но и место нахождения крана, т. е. точное относительное пространственное положение. Кроме того, для динамических испытаний важно, что при изменении энергетического или механического оборудования картина динамического поведения конструкции может измениться кардинально.

Пример 1. Натурные испытания козловых кранов Плявиньской ГЭС показали, что износ и перекося балансирных тележек одного из кранов и изменение геометрии рельсов и подкрановых балок привели к тому, что при движении крана в одну сторону опорные ноги одной стороны крана разъезжались на 50 мм, при движении в другую сторону — соответственно съезжались. Переменные напряжения в металлоконструкции от этой операции составили ~300 кг/см². Расчет на малоцикловую усталость металлоконструкции крана показал, что в течение нескольких лет работы подобных переменных напряжений в конструкции достаточно для возникновения усталостных повреждений. Поскольку время предыдущей работы с такими подвижками было неизвестно, остаточный ресурс крана при условии проведения ремонта балансирных тележек и рихтовки подкрановых рельсов был оценен в 10 — 11 лет.

Пример 2. На Байпазинской ГЭС (Таджикистан, р. Вахш) сороудерживающие решетки совмещенного узла водоприемника с водосбросом были рассчитаны с учетом очень большой скорости совместного потока — 5 м/с. Тем не менее во время большого паводка,

одновременно с которым с гор сошел сель, решетки были разрушены. Последующие после ремонта решеток натурные испытания показали, что расчетные скорости воды на решетках были заданы неправильно, т.к. за расчетную скорость была принята средняя скорость на решетке. При максимальных расходах воды в условиях очень неравномерной эпюры скоростей максимальные локальные (местные) скорости воды на решетке составили 12 м/с, что и явилось причиной разрушений решеток.

Пример 3. Сороудерживающие решетки Рижской и Кегумской ГЭС (Латвия, р. Даугава) были выполнены стационарными, с железобетонными постоянными ригелями и съемными стержневыми секциями. Секции крепились к стационарным ригелям болтами с гайками и контргайками, а также с различными законтривающими шайбами. В результате сильных вибраций решеток автоколебательного типа (резонанс частот отрыва вихрей с кромок стержней и собственных частот стержней) крепления стержней разрушались, а стержневые секции падали на порог. При этом во многих стержнях решеток возникали трещины.

После проведенных динамических испытаний были предложены простые реконструктивные меры для решеток, в результате которых собственные частоты стержней были уведены в более высокую область за счет создания раскреплений в средней части. В настоящее время проблемы в работе решеток исчезли.

Заключение. Натурные обследования и испытания конструкций в настоящее время важны как никогда — и не только потому, что за последние годы разрушена лабораторная база, и не только потому, что конструкции выработали свой ресурс, а еще и потому, что за годы эксплуатации накоплен богатейший материал по условиям работы и действительным расчетным схемам, растерять который было бы очень неразумно и по-русски расточительно.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ДИАГНОСТИКЕ МАССИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Штенгель В.Г., инженер (ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)

Так сложилось по программе семинара, что я выступаю практически в его конце, прослушав много интересных докладов, и в связи с этим решил значительно изменить текст подготовленного материала.

Хочу обратить Ваше внимание на название этого семинара: «Современные методы инструментального обследования для определения состояния гидротехнических сооружений и опыт составления деклараций безопасности». Именно в таком порядке и следовало бы рассматривать эти проблемы, хотя на этом семинаре получился крен именно во вторую половину тематики, то есть в рассмотрение вопросов деклараций, риска и прочие вопросы скорее теоретического плана. Здесь я солидарен с Рахмановой А.Л., что необходимо было больше внимания уделить практике и рассмотреть состояние современных методов инструментального обследования и наблюдения за строительными конструкциями ГЭС.

Как правильно было сказано ранее, плановое обследование — это скорее контроль уровня надзора за состоянием ГЭС силами служб ГЭС и разработка перечня мероприятий по устранению дефектов, известных на станциях. Соответствующие разделы деклараций строятся на основании анализа имеющейся проектной и эксплуатационной документации и визуальных наблюдений. Станций, на которых располагается достаточный объем работающей контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), можно перечислить по пальцам. Это наиболее крупные и относительно новые сооружения типа Саяно-Шушенской ГЭС. Картина состояния строительных конструкций составляется на основании визуальных данных, полученных персоналом ГЭС. Он не всегда, извините, квалифицирован, в наше время часто меняется, зачастую не знает истории возведения и эксплуатации сооружения и, соответственно, не всегда может дать объективную информацию о появлении тех или иных дефектов и поведения их во времени. В этих условиях выводы комиссий, несмотря на их высочайшую квалификацию, могут быть не полностью достоверны.

Результаты инструментального обследования с применением комплекса методов неразрушающего контроля (МНК) могут явиться дополнительной информацией к анализу результатов визуального

контроля и закладной КИА или явиться единственным источником данных о состоянии материала сооружения и о параметрах дефектов. Выявление скрытых дефектов, наблюдение за ходом их развития, позволит проводить своевременный превентивный ремонт, разработав его оптимальную технологию. Это, соответственно, повысит надежность сооружения и продлит срок его эксплуатации. Комплекс МНК незаменим и при техническом обследовании сооружений перед его реконструкцией.

В комплекс контроля бетонных и железобетонных конструкций могут входить в различном сочетании следующие МНК: механические методы оценки прочности бетона, ультразвуковой метод, электромагнитный метод, тепловой метод и т.д.

Рассмотрим реальные возможности применения этих методов на основании опыта, полученного сотрудниками ВНИИГ при обследовании более 100 объектов, из которых около 30 % составили конструкции ГТС.

Механические методы оценки прочности бетона

Это, обычно, метод пластической деформации с использованием приборов, типа «молоток Кашкарова», и метод упругого отскока с использованием склерометра «молоток Шмидта». Рекомендуемая область применения — оценка прочности поверхностных слоев бетона толщиной до 25 — 30 мм, защитного слоя бетона железобетонных конструкций. Однако ошибочно из-за простоты и доступности он рекомендуется для определения прочности бетона всей массивной конструкции. Опыт использования показал, что поверхностные слои (особенно монолитного бетона) в процессе бетонирования и эксплуатации конструкций получают механические свойства, отличающиеся от глубинных слоев. Информацию, полученную по результатам измерений, распространять на всю конструкцию неправомерно.

Были даже случаи, когда в отсутствии технической документации и необходимой информации вместо бетона исследовалась толстая, выравнивающая цементная штукатурка.

Эти методы можно рекомендовать как дополнительные или для оценки прочности поверхностных слоев перед их ремонтом (покрытие штукатуркой, торкрет-бетоном, гидроизоляционным материалом и т.д.).

Ультразвуковые методы оценки физико-механических характеристик материалов (прочность, модули упругости, коэффициент Пуассона и др.) и дефектоскопии конструкций.

Это наиболее распространенный и информативный метод, позволяющий оперативно оценить интегральные характеристики материалов по всему сечению конструкций довольно большой толщины и выявить в процессе дефектоскопии скрытые дефекты, соизмеримые с величиной базы измерения и оказывающие влияние на эксплуатацию контролируемых элементов.

Перечислю ряд обследованных объектов, на которых особенно четко проявился эффект применения ультразвукового метода.

Братская ГЭС: выявлен значительный разброс физико-механических характеристик по уровням бетонирования плотины от 325 м до 405 м. Максимальный разброс прочности — в районе секции 47 на уровне 325 м.

Чиркейская ГЭС: снижена прочность бетона облицовки левого берега до 18,0 МПа (проектная — 30,0 МПа). Прочность бетона правобережной части неравномерна от 15,0 до 36,0 МПа, значение коэффициента вариации прочности значительно превышает допустимые значения. Особенно заметно снижение в секциях № 5 и № 10. Получено распределение прочностных характеристик бетона плотины по высоте, отмечается изменение прочности от 30 — 35 МПа у подошвы до 10 — 15 МПа в верхней части, причем расположение линий равных прочностей поверхностной зоны со стороны нижнего бьефа бетонного массива показывает распределение этой характеристики, связанной с изменением реальной технологии укладки и твердения бетона. Исследование трещин на поверхности бетона низовой грани показало, что они имеют усадочный характер.

Рыбинская ГЭС: выявлены участки снижения прочности бетона конструкций плотины.

ГЭС НИВА-3: выявлены полости за бетонной облицовкой подводящего канала.

Виллойская ГЭС-1: выявлены зоны рыхлого штрабного и монолитного бетонов в устье сегментного затвора.

Серебрянская ГЭС-2: между камерой рабочего колеса (КРК), спиральной камерой (СК) и потерной выявлена зона разрушения бетона в верхней части 4 яруса бетонирования, обнаружены отслоения бетона от металлической облицовки КРК и СК, полости в зоне водовода.

Верхне-Териберская ГЭС: выявлены полости за металлом СК, в швах между монолитным и штрабным бетонами.

ГЭС Янискоски: в контрфорсах № 21 и 33 выявлены раскрытия строительных швов, определена глубина деструкции поверхностного слоя бетона наклонных граней (20 — 40 см). Прочность бетона выше проектного значения.

Нижегородская ГЭС: при проверке состояния бетона между КРК и СК на шести агрегатах определены зоны расслоения штрабного и монолитного бетонов, определено низкое качество штрабного бетона при замене КРК № 5.

При обследовании, в основном, использовался метод сквозного прозвучивания. Учитывая значительные базы измерения (до 3,5 – 7 м), использовалась относительно мощная аппаратура УКБ-1М и УК-10 П со специально разработанными добавочными блоками усиления излучаемого и принимаемого сигналов.

Тепловой метод. Разработана и применена методика выявления полостей и отслоений бетонной облицовки откосов каналов и грунтовых плотин от основания. Метод применялся при обследовании облицовки каналов Земо-Авчальской ГЭС в Грузии и Нарвской ГЭС.

Электромагнитный метод используется при определении положения скрытой арматуры и закладных. Применялся для восстановления документации по фактическому армированию элементов конструкций, определению положения и направления арматуры перед разметкой трасс ультразвукового прозвучивания и участков выбуривания контрольных кернов.

Таким образом, даже исходя из этого далеко неполного перечня наиболее распространенных методов и вариантов их использования, очевидна несомненная эффективность их использования. Но вот теперь перейду к «больной» части вопроса: к аппаратурному оснащению этих методов.

Все работы, проводимые в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», выполняются на давно устаревшем оборудовании, которое сохраняется только благодаря стараниям сотрудников института. Судя по докладом других родственных организаций, положение со средствами измерений там аналогичное. Научные центры не имеют средств на разработку и приобретение дорогостоящей аппаратуры, которая без гарантированного «портфеля заказов» может долгое время лежать без применения; нет возможности содержать группы квалифицированных специалистов, тем более что станции не выполняют требований на обязательное периодическое обследование конструкций; старые кадры специалистов, имеющие большой опыт в проведении подобных работ, отошли от дел.

В последние годы научные центры и заводы, разрабатывающие и выпускающие аппаратуру, в основном, остались в плачевном состоянии в Молдавии и на Украине. Специалисты — разработчики только сейчас начинают преодолевать кризис. При этом при разработке новой аппаратуры происходит увлечение сервисной частью

приборов, стремление упростить их использование, чтобы дать им выход к массовому применению. Но это привело, с одной стороны, к резкому удорожанию приборов, с другой стороны — к значительному снижению объема информации, получаемого при исследованиях. В частности, новые ультразвуковые приборы не позволяют работать на больших базах измерения; отказ от визуализации принятого сигнала и возможности анализировать его параметры по осциллограмме привел к тому, что на современных приборах метод стал мало применим в целях дефектоскопии.

Наиболее интересен ультразвуковой дефектоскоп А 1220, разработанный и изготовленный малой серией в МНПО «Спектр». Но пока нет сведений о его успешном применении для обследования ГТС, и не ясно, сможет ли он надежно работать в натуральных условиях на специфическом бетоне, имеющем большие размеры крупного заполнителя и повышенную шероховатость поверхностей монолитного бетона. Стоимость прибора достаточно высока (около 220000 руб.) для массового потребителя, хотя и значительно уступает заграничным ценам. Например, стоимость ультразвукового дефектоскопа для бетона фирмы Крауткремер USD-10NF составляет в базовом варианте (без набора датчиков и вспомогательного оборудования) — 29000 марок, прибор для обнаружения и оценки степени коррозии арматуры без вскрытия конструкций фирмы Canip стоит 10000 долларов в базовом варианте плюс 4000 долларов — дополнительная система электродов, комплект тепловизионной аппаратуры с программным обеспечением — 80000 — 100000 долларов.

Таким образом, очевидно, что рядовой организации практически без инвестиционной поддержки не освоить содержание квалифицированных специалистов и современной аппаратуры, отсутствует возможность разработки и выпуска специализированных приборов. По всей вероятности, есть необходимость с помощью РАО «ЕЭС России» организовать несколько региональных центров по России на базе имеющихся научных организаций, сосредоточив там специалистов и аппаратуру и обеспечить инструментальный контроль сооружений по определенному графику. Тогда это позволит обеспечить «полный портфель» заказов, наладить соответствующий обмен информацией, методиками, разработать специальную аппаратуру, создать банк данных по дефектам и т.д. Иначе, по-видимому, проблему надежного инструментального контроля строительных конструкций ГТС не решить.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НОВЫХ РЕДАКЦИЙ СНиП, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ НА ОСНОВЕ ТРЕБОВАНИЙ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗАКОНА «О БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»

*Храпков А.А., доктор техн. наук,
(ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)*

В настоящее время в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» проводятся работы по пересмотру следующих нормативных документов:

СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования»;

СНиП 2.02.02-85 «Основания гидротехнических сооружений»;

СНиП 2.06.05-84* «Плотины из грунтовых материалов»;

СНиП 2.06.06-85 «Плотины бетонные и железобетонные»;

СНиП 2.06.08-87 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений».

Процесс пересмотра для разных документов находится в разных стадиях. Я же хочу остановиться на вновь создаваемом документе «Строительство гидротехнических сооружений в сейсмических районах».

Немного истории. В начале века появились первые записи колебаний почвы при землетрясениях, и тогда же была предложена статическая теория сейсмостойкости, согласно которой на сооружение действует статически приложенная сила, равная произведению массы тела на пиковое (максимальное по модулю) значение ускорения. Очевидно, что из-за неучета динамики процесса значения нагрузок и усилий при этом существенно занижались. В 30-е годы появилась линейно-спектральная теория сейсмостойкости, где заиграли во всю силу основные параметры сооружения, его собственные частоты и формы колебаний, которые собственно и создают нагрузки. На Западе их называют модами колебаний. И то ли нагрузки, то ли возникающие напряжения или усилия вычисляются как геометрическая сумма, т.е. как корень квадратный из суммы квадратов ряда нагрузок, соответствующих первой, второй, третьей, может быть, до пятой включительно или до третьей включительно или хотя бы первой формы собственных колебаний. Здесь же фигурирует и коэффициент динамичности, который представляет собой, в первом приближении, усиление землетрясения по той или иной моде. Вот, например, катится сейсмическая волна по подошве плотины, в которой максимальное ускорение составляет $0,10 g$ или $1 m/s^2$. Естественно, что прибор на гребне плотины высотой около 240 м, как

у СШГЭС, отметит, по расчетам, ускорение например $3,5 \text{ м/с}^2$, т.е. в 3,5 раза больше из-за коэффициента динамичности. Эти нормы благополучно просуществовали во всех развитых странах, начиная с США и дальше, примерно 60 – 70 лет и достаточно благополучно используются до сих пор. Я не буду останавливаться на присущих им внутренних противоречиях. Следует отметить лишь, что для предметности норм эти расчеты сохранены для сооружений III и IV классов. Но для сооружений I и II классов расчеты отныне должны выполняться по современной так называемой «динамической» теории. Что это такое? По самому простому, если отказаться от громких терминов и сложностей, — это проигрывание процесса прохождения землетрясения по подошве сооружения на компьютере. Вот волна подходит, она затекает вверх, как бы завихряется в сооружении; на картинках компьютера это хорошо видно: волна подходит к верху плотины, сооружение начинает раскачиваться, обычно очень близко от начала процесса возникают самые тяжелые состояния сооружения (т.е. максимальных значений достигают смещения, напряжения, усилия), а потом начинается колебательный процесс. Для этого надо получить какой-то ряд так называемых расчетных акселерограмм, РА, которые поставляются сейсмологами, и дальше надо иметь: достаточно хорошие знания — это в первую очередь; во вторых, программные комплексы; в третьих, приличный компьютер; тогда можно проигрывать эти процессы в сооружении, их как-то отображать, трансформировать в свое представление о работе сооружения. Не всегда получается просто, как хотелось бы. Некоторые результаты приходится отбрасывать — существует целая кухня. Это и есть динамическая теория сейсмостойкости. Следует заметить, что результаты она дает существенно большие: смещения, ускорения, усилия, напряжения, деформации — получаются существенно больше, чем по линейно-спектральной теории. Но для того, чтобы несколько сблизить эти результаты, нами, разработчиками, предприняты некоторые меры, о которых я скажу чуть ниже.

Наиболее ответственные типы сооружений рассчитываются на два вида землетрясений: проектное (ПЗ) и максимальное расчетное (МРЗ).

Стала более сложной связь между расчетной сейсмичностью площадки строительства и расчетными параметрами ускорения основания: включены дробные полбалла значения расчетной сейсмичности площадки строительства. А во-вторых, по сравнению с действующими нормами несколько смягчено влияние местных грунтовых условий на величину ускорения основания. Я считаю необходимым обратить внимание на один из центральных пунктов, о котором уже сказал:

чтобы не было сильного разрыва в результатах, получаемых в расчетах по различным теориям сейсмостойкости, утяжелены нагрузки на сооружение, даже по исходной, такой традиционной и консервативной, линейно-спектральной теории. Значение коэффициента, учитывающего допустимые повреждения сооружения, принято равным 0,5 — это коэффициент, который входит в нагрузку, — в то время как в действующих нормах аналогичный коэффициент равен 0,25. В совокупности с другими нововведениями СНиП сейсмические нагрузки, напряжения и усилия возрастают примерно в 1,5 раза.

Большое внимание уделяется анализу возможного разжижения грунтов основания или тела сооружения. Этому вопросу посвящено отдельное приложение. Определены общие требования к критериям сейсмостойкости для гидросооружений, рассчитанных на ПЗ и МРЗ. При этом отмечено (это тоже очень важное нововведение), что критерии прочности и устойчивости сооружения при расчете на ПЗ должны быть указаны в нормах проектирования конкретных видов сооружений, а при расчете на МРЗ принимаются проектные организации: теперь проектировщик вправе выбрать при расчете на максимальное расчетное землетрясение, где получаются очень большие значения усилий, фактически любую методику, которая ему кажется достаточно обоснованной и опробованной коллегами.

Существенно расширен состав мероприятий по повышению сейсмостойкости гидротехнических сооружений, особенно портовых сооружений и водоподпорных из грунтовых материалов. Очень высокие требования вводятся к однородности укатки грунта, например в грунтовых плотинах. Ведь известно, что плотность грунта в грунтовой плотине практически в очень значительной мере определяет сейсмостойкость сооружения.

Введен новый специальный раздел по режимным наблюдениям за опасными геодинамическими явлениями. В состав СНиП включен весьма представительный терминологический раздел, содержащий определения десятков понятий и величин, используемых в данном нормативном документе. Хочу сказать, что по нормативным документам поступило очень много предложений от специалистов, организаций, ВУЗов, проектировщиков и т.д. Большую активность в этом вопросе проявляет Саяно-Шушенская ГЭС. Мы, специалисты ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» пишем, конечно, форму 6, пытаемся всем ответить и, безусловно, наиболее ценное из поступающих предложений, все, что возможно, что вяжется с другими предложениями и находится как бы на острие вектора направления инженерной мысли, пытаемся включить.

Во всех СНиП будут главы о режимных наблюдениях — это обязательно, потому что теперь в связи с Законом «О безопасности гидротехнических сооружений» фактически нормируется деятельность эксплуатирующей организации по наблюдениям за сооружением. Более того, следует сказать, хотя это и будет рассматриваться только завтра, — идет большая работа по доработке очень многострадального документа: предельно допустимые значения контролируемых параметров (ПДЗ). Об этом будут специальные доклады, но нужно отметить, что некоторые положения из этого документа обгонят ныне действующие СНиП, и придется (другого, как говорится, не дано) в эти новые редакции следом за ПДЗ вставлять соответствующие разделы, которые нормировали бы получение критериев безопасности уже на стадии проектирования, чего раньше никогда не было.

МЕТОДЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАСХОДОВ В ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМАХ ВОДОПРИЕМНИКОВ И ЗДАНИЙ ГЭС И ГАЭС

*Клабуков В.М., инженер (АО НИИЭС),
Черненко В.Н., инженер (Загорская ГАЭС)*

В общем комплексе проблем обеспечения безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений важнейшее место занимает информационное обеспечение, т. е. необходимый и достаточный объем измерительной информации.

В то же время до сих пор действуют рекомендации нормативных документов, согласно которым частота измерений основных параметров состояния гидротехнических сооружений определена от 1 до 24 измерений в год [1]. Отсюда следует, что даже в лучшем случае измерения производятся два раза в месяц.

Такая частота измерений определена не недостаточностью объема информации, а сложностями выполнения измерений с более высокой частотой традиционными неавтоматизированными методами.

Традиционный (ручной) контроль имеет ряд существенных недостатков. В первую очередь, это низкие производительность и достоверность контроля, большое влияние человеческого фактора, несинхронность измерений различных параметров. Последнее полностью исключает определение связей поведения одних параметров от изменений других. Это в свою очередь не позволяет решать зада-

чи диагностирования, а также исключает разработку достаточно надежных статистических и математических моделей.

В ПТЭ [2] записаны следующие требования:

«Пункт 3.1.1. Особое внимание должно быть уделено обеспечению надежной работы противофильтрационных и дренажных систем.»

«Пункт 3.1.27. Для повышения оперативности и достоверности контроля ответственные гидротехнические сооружения следует оснащать автоматизированными системами диагностического контроля (АСДК).»

В настоящее время можно обеспечить измерения любых параметров с помощью автоматизированных систем. Такие средства измерений входят в Государственный реестр Российской Федерации средств измерений.

На Загорской ГАЭС внедряются следующие современные автоматизированные средства измерений:

сбор информации от струнных измерительных преобразователей (ввод в опытную эксплуатацию намечен на конец 2000 года);

измерение расходов в турбинных и насосных режимах работы агрегатов (расходомер введен в опытную эксплуатацию на водоводе агрегата № 5 с 22 июня 2000 г);

измерение дренажных расходов здания ГАЭС и водоприемника (расходомер дренажных расходов водоприемника введен в опытную эксплуатацию с 5-го июля 2000 г).

На рис. 1 и 2 представлены предварительные результаты измерений расходов дренажной системы водоприемника.

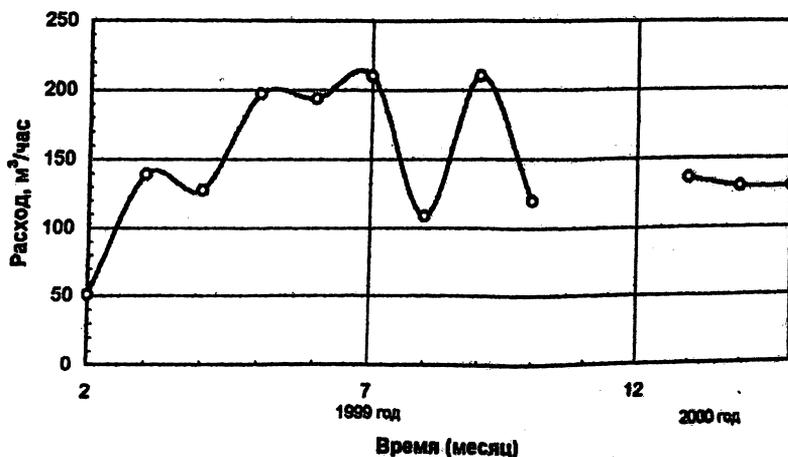


Рис. 1. Суммарные расходы дренажной системы водоприемника при частоте измерений 1 раз в месяц.

На рис. 1 показана динамика изменений суммарных расходов дренажной системы водоприемника Загорской ГАЭС при частоте измерений традиционными методами 1 раз в месяц (данные журнала наблюдений). Поскольку синхронных наблюдений за другими параметрами (температура фильтрата, воды в верхнем бассейне и внешней среды) не производилось, то причинные связи таких колебаний величин расходов установить не удается.

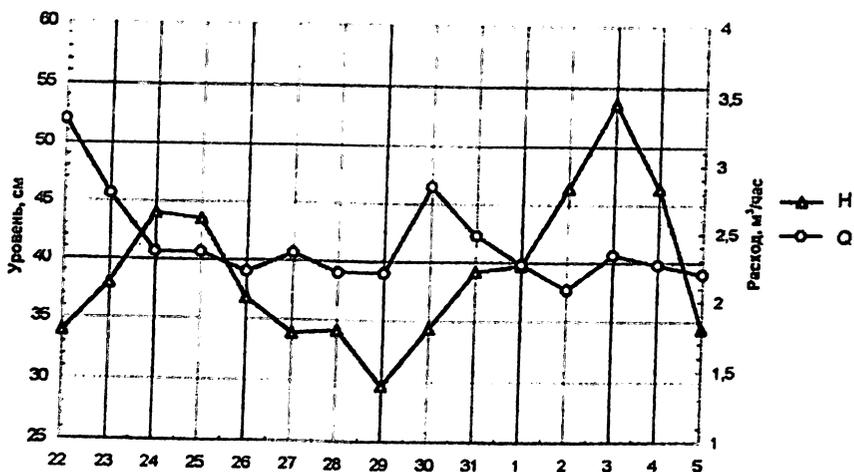


Рис. 2. Динамика изменений уровней в пьезометре П23 и дренажных расходов секции 10.

На рис. 2 представлена динамика изменений уровней в пьезометре и дренажных расходов на плотине Зейской ГЭС. Авторам работы [3] удалось организовать ежесуточные наблюдения за поведением пьезометра П23 и дренажных расходов секции 10. Наблюдения производились при практически постоянной отметке верхнего бьефа и выявили значительные колебания величин уровней в пьезометре и дренажных расходов. Синхронных наблюдений за другими параметрами, от которых могут зависеть эти величины, не велось.

Фундаментальной основой диагностики состояния гидротехнических сооружений является измерительная информация. От ее качества и необходимого объема зависит конечный результат — оценка состояния и принятие решения.

Рассмотрим некоторые результаты опытной эксплуатации расходомера дренажных расходов водоприемника Загорской ГАЭС.

На верхнем рисунке на цветной вкладке показано размещение акустических преобразователей на коллекторе суммарных дренаж-

ных расходов, включающих дренаж основания, дренаж межблочных швов, слив протечек через затворы. На нижнем рисунке (цветная вкладка) показан вычислительный блок ультразвукового расходомера.

Основные технические характеристики ультразвукового расходомера:

режим работы — местный и дистанционный ;

вид информации — текущий расход в м³/час, часовые и суточные объемы;

глубины архивирования — не менее 5000 часов;

время хранения архивной информации в обесточенном состоянии — не менее 2-х лет;

ресурс — 12 лет;

пределы основной приведенной погрешности: расход $\pm 1\%$; объем $\pm 2\%$.

На рис. 3 показана динамика изменений среднесуточных расходов за 12 суток в июле 2000 г. Отмечено изменение величины расхода в 2,5 раза (13 июля по сравнению с 5 июля). Примененная автоматизированная система позволяет получить данные среднесуточных расходов.

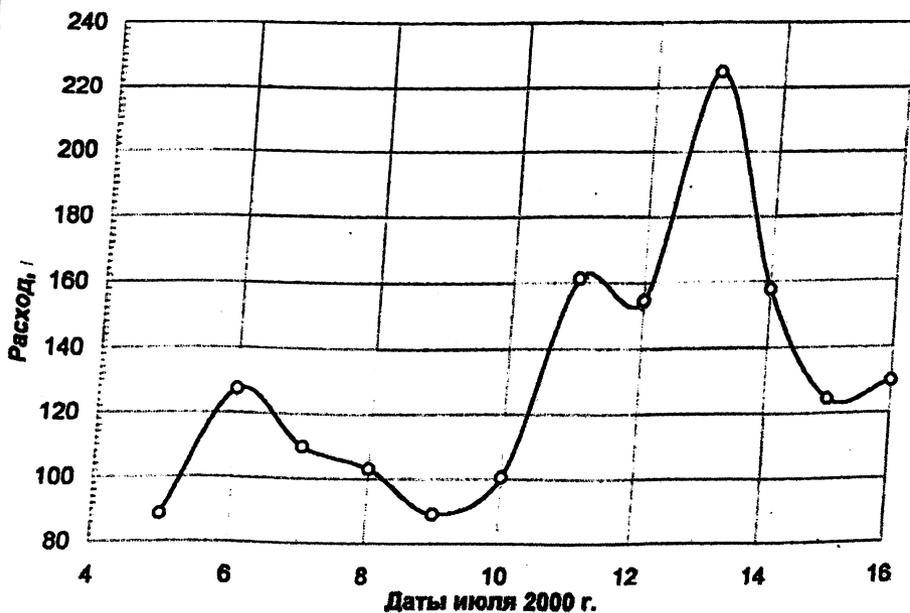


Рис. 3. Динамика измерений среднесуточных расходов.

На рис. 4 представлена динамика изменения среднечасовых расходов за 5 и 13 июля 2000 года. По графику видно существенное изменение среднечасовых расходов. Для установления причин таких изменений предполагается организовать синхронное почасовое измерение температур фильтрата, воды в верховом бассейне и окружающей среды. Связи с величинами отметок верхнего бьефа не обнаружено.

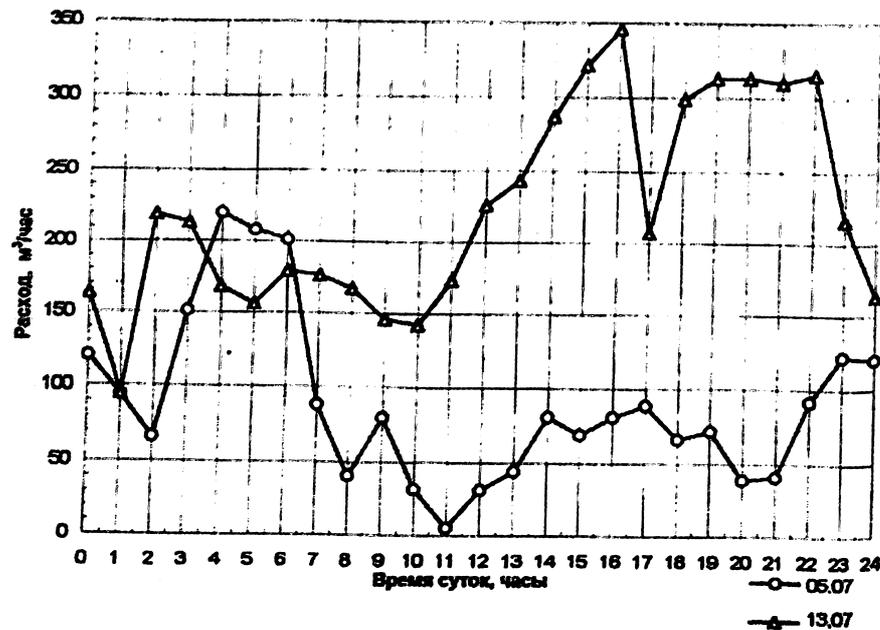


Рис. 4. Динамика изменения среднечасовых расходов 5 и 13 июля 2000 года.

Приведенные результаты наблюдений за фильтрационным режимом убедительно доказывают необходимость полной автоматизации измерений всех основных параметров состояния гидротехнических сооружений, что обеспечит:

- синхронность измерений;
- установление причинной связи изменений величин одних параметров от других;
- разработку надежной системы диагностирования состояния гидротехнических сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов Н.Ф., Царев А.И. Натурные наблюдения как средство обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. Научно-

технический и производственный сборник «Безопасность энергетических сооружений». Вып. 1. М.: АО НИИЭС. 1998.

2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. РД 34. 20. 501-95. 15-е изд. М. 1996 г.

3. Марчук А.Н., Дудченко Л.Н., Болгов В.В., Соловьев Ю.В., Ивашкина Н.М., Вяткин А.В. О состоянии плотины Зейской ГЭС с учетом геодинамического влияния. // Гидротехническое строительство. 1995. № 5.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ К КОНЦЕПЦИИ И ПРОГРАММНЫЕ ЗАДАЧИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС

*Бритвин С.О., кандидат техн. наук,
генеральный директор АО НИИЭС*

*(Доклад на совместном заседании НТС РАО «ЕЭС России» и
НС РАН ПНББСЭ, г. Набережные Челны, 07.09.2000 г.)*

Проект развития гидроэнергетики на период до 2015 г. направлен на достижение стратегически важной для России цели — обеспечение потребностей страны в электроэнергии на длительную перспективу. Для достижения этой цели требуется решение целого комплекса организационных, технических, экономических и социально-политических задач, одной из важнейших среди которых является обеспечение безопасности гидротехнических сооружений электростанций. Особое внимание к этим сооружениям связано, с одной стороны, с тем, что прорыв напорного фронта водохранилищ электростанций может привести к возникновению чрезвычайных ситуаций вплоть до катастроф федерального уровня, а с другой стороны, с тем, что большинство действующих в стране электростанций эксплуатируется более 30 лет, а согласно мировой статистике, именно в этот период жизни сооружений резко возрастает вероятность их повреждений и аварий. С введением 21.07.97 г. в действие Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» значимость этой проблемы приобрела общегосударственный уровень.

Законом регламентированы основные направления обеспечения безопасности гидротехнических сооружений (рис. 1). За истекшие три года по каждому из этих направлений был выполнен значительный объем работ. Ровно год тому назад на таком же, как сегодня, совместном заседании НТС РАО «ЕЭС России» были рассмотрены результаты этой работы, поэтому я остановлюсь только на некоторых, как мне представляется, наиболее важных результатах на сегодняшний день.



Рис. 1. Основные направления обеспечения безопасности гидротехнических сооружений

Необходимо отметить, что поскольку закон «О безопасности гидротехнических сооружений» принят у нас впервые, то первоочередные задачи по реализации закона были связаны с формированием нормативно-правовой и нормативно-методической базы, решением организационных вопросов по формированию системы государственного надзора, по системе декларирования и обследования сооружений, развитию инструментальных и численных методов диагностирования сооружений.

По существу на этом совещании мы впервые рассматриваем вопросы обеспечения безопасности гидросооружений на перспективу до 2015 г. с учетом приближения срока службы подавляющего большинства сооружений к 50 годам, с учетом необходимости достройки ряда крупных сооружений, находящихся в процессе строительства более 20 лет, с учетом видимой необходимости консервации ряда начатых строительством гидроузлов.

Итак, о достигнутых результатах и задачах на ближайшую перспективу по основным направлениям обеспечения безопасности гидросооружений.

Нормативно-правовое и нормативно-методическое обеспечение

Концепция государственного регулирования обеспечения безопасности гидротехнических сооружений основана на многолетнем опыте отраслевого надзора за безопасностью энергетических сооружений и изучении аналогичных документов, действующих в других странах. Подготовленные и выпущенные в последнее время нормативные акты наряду с самим Федеральным законом образуют пакет законодательных актов, достаточных для осуществления государственного надзора за безопасностью гидросооружений.

К числу таких актов относятся Постановления Правительства РФ (рис. 2): «О порядке формирования и ведения Российского регистра гидротехнических сооружений», «О внесении изменений и до-

Разработано	Требуется разработать
<ul style="list-style-type: none">- Закон РФ «О безопасности гидротехнических сооружений»<i>Постановления правительства РФ:</i>- О порядке формирования и ведения Российского регистра гидротехнических сооружений- О внесении изменений и дополнений в отдельные решения Правительства РФ в связи с ФЗ «О безопасности ГТС»- Об утверждении положения о декларировании безопасности ГТС- Об обеспечении безопасности ГТС, разрешение на строительство и эксплуатацию которых аннулировано, а также ГТС, подлежащих консервации, ликвидации, либо не имеющих собственника- Об утверждении положения о лицензировании деятельности по проектированию, строительству и эксплуатации ГТС- О порядке и размерах возмещения вреда, принесенного в результате аварии ГТС»	<ul style="list-style-type: none">- Закон РФ «Об обязательном страховании риска гражданской ответственности собственника ГТС»<i>Отраслевые документы:</i>- Методика назначения критериев безопасности ГТС- Методика определения размера ущерба в результате аварии ГТС- Правила обследования ГТС электростанций- Новая редакция Правил технической эксплуатации электростанций- Новые редакции СНиПов

Рис. 2. Нормативно-правовое и нормативно-методическое обеспечение безопасности ГТС.

полнений в отдельные решения Правительства Российской Федерации в связи с Федеральным законом «О безопасности гидротехнических сооружений», «Об утверждении положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений», «Об обеспечении безопасности гидротехнических сооружений, разрешение на строительство и эксплуатацию которых аннулировано, а также гидротехнических сооружений, подлежащих консервации, ликвидации, либо не имеющих собственника», «Об утверждении положения о лицензировании деятельности по проектированию, строительству и эксплуатации гидротехнических сооружений», «Правила определения финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причинённый аварией ГТС».

Указанные нормативные правовые акты разработаны Минэнерго России при участии организаций РАО «ЕЭС России» и во взаимодействии с МПР, Минтрансом РФ и Госгортехнадзором России.

Разработан и передан в Государственную Думу проект Федерального закона «Об обязательном страховании гражданской ответственности за вред, причинённый аварией ГТС».

В соответствии с решением НТС РАО «ЕЭС России» разработаны и разосланы на отзывы два важнейших методических документа «Методика назначения критериев безопасности ГТС» и «Методика определения размера ущерба в результате аварии ГТС».

Разработана и направлена на отзывы первая редакция «Правил обследования гидротехнических сооружений электростанций».

По данному направлению обеспечения безопасности гидросооружений на ближайшую перспективу могут быть сформулированы следующие задачи:

1. Завершение разработки и выпуск нормативно-методических документов, регламентирующих процедуру контроля безопасности ГТС, в том числе:

«Методика назначения критериев безопасности ГТС»;»

«Методика определения размера ущерба в результате аварии ГТС»;»

«Правила обследования ГТС электростанций»;»

новая редакция Правил технической эксплуатации электростанций.

2. Приведение действующих СНиП в соответствие с законом «О безопасности гидротехнических сооружений».

Действующие в настоящее время строительные нормы и правила, выпущенные до принятия закона и соответствующих нормативно-правовых и нормативно-методических документов, в ряде случаев не учитывают требований Закона.

В настоящее время под руководством ОАО «ВНИИГ им.Б.Е. Веденеева» ведется разработка новых редакций СНиП. Эта работа должна быть завершена. На основе разработанных документов необходимо осуществить опытное проектирование применительно к основным типам ГТС и разработать затем Пособия, разъясняющие процедуру обеспечения безопасности на всех стадиях проектирования и строительства сооружений.

3. Завершение разработки и ввод в действие Федерального закона «Об обязательном страховании гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии ГТС». По существу только с выходом этого закона могут быть решены в полной мере вопросы финансового обеспечения как ущерба в результате возможной аварии ГТС, так и самих мероприятий по обеспечению безопасности ГТС.

Организационное обеспечение безопасности гидротехнических сооружений

Организационная структура системы обеспечения безопасности ГТС в Минэнерго России и РАО «ЕЭС России» представлена на рис.3.

Системы обеспечения безопасности гидросооружений Минэнерго России и РАО «ЕЭС России» связаны помимо формальных субординационных отношений также научно-техническими связями в виде Координационного совета по отраслевой программе «Безопасность энергетических сооружений» (председатель - В.В. Кудрявый) и секции НТС РАО «ЕЭС России» «Правовые и нормативно-технические проблемы безопасности энергетических сооружений» (председатель Б.П. Варнавский). Такие связи, как показал опыт, являются весьма эффективными.

За истекший период:

организована и функционирует государственная служба надзора за безопасностью ГТС в лице Госэнергонадзора Минэнерго России, НТЦ энергонадзора и региональных отделений Госэнергонадзора;

ведется декларирование безопасности гидротехнических сооружений электростанций в соответствии с утвержденным Минэнерго графиком;

осуществляется отраслевой контроль за состоянием гидротехнических сооружений, в соответствии с утвержденным графиком проводятся периодические (1 раз в 5 лет) обследования состояния гидросооружений электростанций;

осуществляется периодическое обучение персонала электростанций по проблеме «Безопасность гидросооружений» на проводимых Минэнерго России и РАО «ЕЭС России» школах-семинарах;

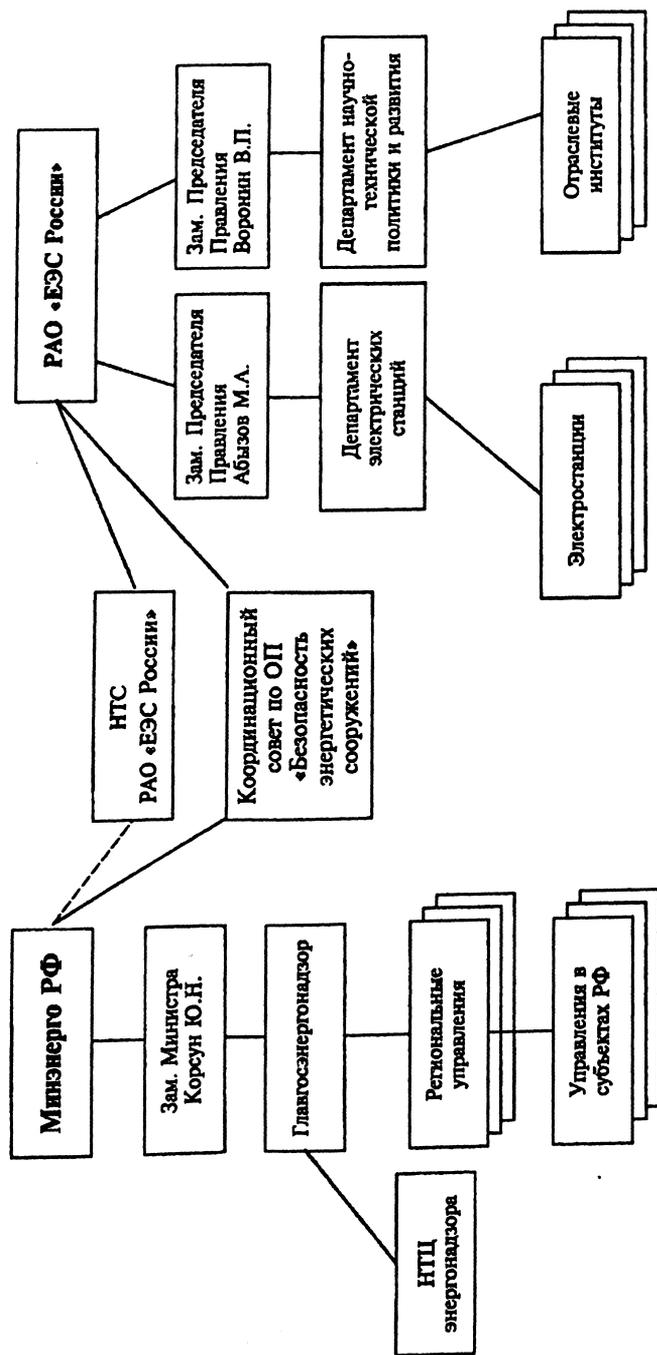


Рис.3. Организация обеспечения безопасности ГЭС в отрасли.

сформирована, утверждена и функционирует отраслевая программа «Безопасность энергетических сооружений». Именно в рамках этой программы в последние два года велась разработка нормативных методических документов, разрабатывались новые инструментальные и численные методы оценки безопасности гидросооружений, осуществлялось обследование ГЭС электростанций РАО «ЕЭС России». Программа финансируется в настоящее время из средств Внебюджетного фонда НИОКР РАО «ЕЭС России» в соответствии с ежегодно утверждаемым Координационным советом перечнем первоочередных работ по отраслевой программе.

Какие задачи должны быть решены по рассматриваемому направлению обеспечения безопасности ГЭС в долгосрочной перспективе?

1. Отработка механизма декларирования ГЭС за счет совершенствования методик, регламентирующих этот процесс, включая декларирование достраиваемых и консервируемых объектов.

2. Реконструкция системы обследования состояния ГЭС. Действующие в настоящее время Правила обследования ГЭС ориентированы на экспертные заключения комиссий по обследованию, формируемые на основе имеющихся в распоряжении дирекций объектов данных о состоянии объектов и результатов комиссионных визуальных обследований. В то же время имеющиеся в настоящее время и разрабатываемые в рамках отраслевой программы «Безопасность энергетических сооружений» методики и аппаратура позволяют проводить инструментальные обследования и экспресс-анализ состояния сооружений и конструкций электростанций. Представляется необходимым создание в РАО «ЕЭС России» в ближайшей перспективе отраслевого центра инструментального контроля состояния сооружений и оборудования электростанций. Такой центр может быть сформирован с привлечением сотрудников АО «Фирма ОРГРЭС», ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», ЦСГНЭО, АО НИИЭС.

3. Как показывают результаты обследования состояния сооружений и уровня контроля их безопасности дирекциями электростанций, далеко не все гидроцехи укомплектованы инженерами-гидротехниками, владеющими методами контроля состояния сооружений. В этой сфере представляется необходимым создание постоянно действующего курса «Безопасность энергетических объектов» на базе учебного центра Минэнерго России (г. Раменское), а также введение в учебную программу ряда строительных ВУЗов (например, МГСУ) учебного курса «Безопасность энергетических сооружений».

4. Действующая Отраслевая программа Минэнерго России и РАО «ЕЭС России» «Безопасность энергетических сооружений» была ориентирована на выполнение первоочередных задач по реализации Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений». Срок действия этой программы истекает в 2000 году. Учитывая все нарастающую значимость обеспечения безопасности ГТС при реализации «Программы развития гидроэнергетики на период до 2015 г.», представляется необходимым пролонгировать отраслевую программу «Безопасность энергетических сооружений» до 2005 г.

Целесообразно также включить в состав программы задание «Разработать концепцию и программные задачи по обеспечению безопасности ГТС электростанций на длительную перспективу».

Финансовое обеспечение мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений

Финансовое обеспечение мероприятий по реализации Закона «О безопасности гидротехнических сооружений» является одной из самых острых проблем, несмотря на то что в Законе четко регламентируется, что эти мероприятия должны финансироваться собственником сооружения, а их недофинансирование влечет за собой уголовную ответственность.

На сегодняшний день собственник (эксплуатирующая организация) может финансировать мероприятия по обеспечению безопасности гидросооружений из следующих источников (рис. 4):

1. Часть средств Внебюджетного фонда НИОКР, оставляемая в распоряжении собственника (до 25%) при условии перечисления им в фонд 1,5% от объема себестоимости продукции (выделение этих средств утверждается региональной энергетической комиссией).

2. Средства ремонтного фонда, имеющиеся в распоряжении собственника.

3. Средства страховой компании - фонд превентивных мероприятий по обеспечению безопасности сооружений (до 15% от объема страхового взноса), если собственник застраховал свой объект.

4. В исключительных случаях централизованные средства РАО «ЕЭС России» из Внебюджетного фонда НИОКР, инвестиционно-го фонда, бюджета РАО.

Указанных средств явно недостаточно для финансирования мероприятий по обеспечению безопасности ГТС. Особо тяжелая ситуация складывается на гидроэлектростанциях, где тарифы на электроэнергию существенно занижены по сравнению с ТЭС.

В таком же сложном положении находятся и научные организации, работающие в области научного обеспечения безопасности ГТС.

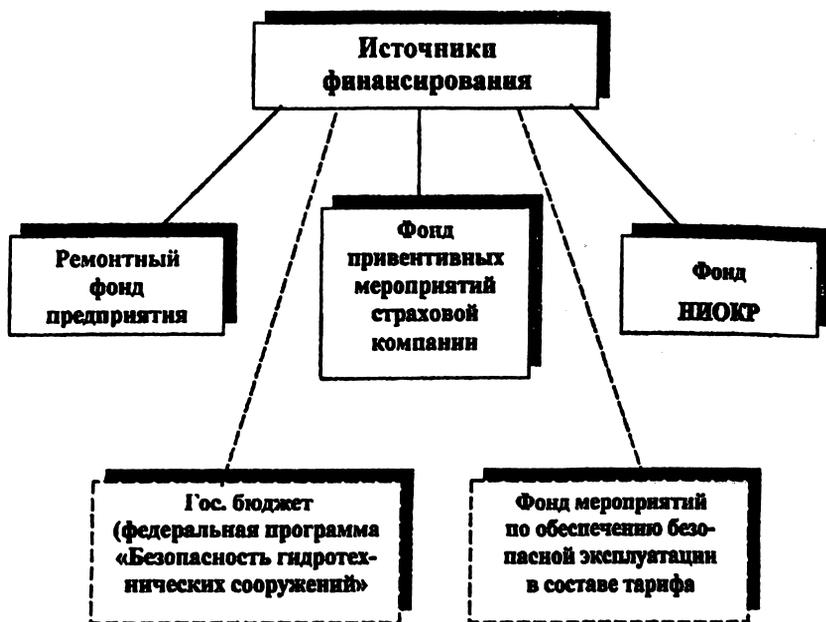


Рис. 4. Финансовые вопросы обеспечения безопасности.

Приведу конкретный пример. В утвержденном перечне первоочередных работ по отраслевой программе «Безопасность энергетических сооружений» на 2000 г. предусмотрены работы, финансируемые из средств Внебюджетного фонда НИОКР РАО «ЕЭС России» в объеме 16,780 тыс. руб., а по заключенным с Внебюджетным фондом НИОКР договорам объем работ 2000 г. составляет 8,850 тыс. руб. Научно-техническая программа РАО «ЕЭС России» 0.05 «Гидроэлектростанции и энергетические сооружения», где также рассматриваются вопросы безопасности ГЭС, финансируемая ранее из Внебюджетного фонда НИОКР корпорации ЕЭЭК, в 2000 г. практически не финансируется.

Принимая во внимание всю полноту ответственности РАО «ЕЭС России» за безаварийную эксплуатацию крупных гидротехнических сооружений страны, следует потребовать от всех руководителей энергообъектов выделения необходимого финансирования мероприятий по повышению их безопасности. Представляется необходимым выделять эти затраты в смете эксплуатации объекта отдельной строкой и включать их в состав затрат, относимых на себестоимость продукции. Вопрос этот достаточно сложен, требует соответствующего решения Федеральной энергетической комиссии, но его нужно ре-

4. Действующая Отраслевая программа Минэнерго России и РАО «ЕЭС России» «Безопасность энергетических сооружений» была ориентирована на выполнение первоочередных задач по реализации Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений». Срок действия этой программы истекает в 2000 году. Учитывая все нарастающую значимость обеспечения безопасности ГЭС при реализации «Программы развития гидроэнергетики на период до 2015 г.», представляется необходимым пролонгировать отраслевую программу «Безопасность энергетических сооружений» до 2005 г.

Целесообразно также включить в состав программы задание «Разработать концепцию и программные задачи по обеспечению безопасности ГЭС электростанций на длительную перспективу».

Финансовое обеспечение мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений

Финансовое обеспечение мероприятий по реализации Закона «О безопасности гидротехнических сооружений» является одной из самых острых проблем, несмотря на то что в Законе четко регламентируется, что эти мероприятия должны финансироваться собственником сооружения, а их недофинансирование влечет за собой уголовную ответственность.

На сегодняшний день собственник (эксплуатирующая организация) может финансировать мероприятия по обеспечению безопасности гидросооружений из следующих источников (рис. 4):

1. Часть средств Внебюджетного фонда НИОКР, оставляемая в распоряжении собственника (до 25%) при условии перечисления им в фонд 1,5% от объема себестоимости продукции (выделение этих средств утверждается региональной энергетической комиссией).

2. Средства ремонтного фонда, имеющиеся в распоряжении собственника.

3. Средства страховой компании - фонд превентивных мероприятий по обеспечению безопасности сооружений (до 15% от объема страхового взноса), если собственник застраховал свой объект.

4. В исключительных случаях централизованные средства РАО «ЕЭС России» из Внебюджетного фонда НИОКР, инвестиционного фонда, бюджета РАО.

Указанных средств явно недостаточно для финансирования мероприятий по обеспечению безопасности ГЭС. Особо тяжелая ситуация складывается на гидроэлектростанциях, где тарифы на электроэнергию существенно занижены по сравнению с ТЭС.

В таком же сложном положении находятся и научные организации, работающие в области научного обеспечения безопасности ГЭС.



Рис. 4. Финансовые вопросы обеспечения безопасности.

Приведу конкретный пример. В утвержденном перечне первоочередных работ по отраслевой программе «Безопасность энергетических сооружений» на 2000 г. предусмотрены работы, финансируемые из средств Внебюджетного фонда НИОКР РАО «ЕЭС России» в объеме 16,780 тыс. руб., а по заключенным с Внебюджетным фондом НИОКР договорам объем работ 2000 г. составляет 8,850 тыс. руб. Научно-техническая программа РАО «ЕЭС России» 0.05 «Гидроэлектростанции и энергетические сооружения», где также рассматриваются вопросы безопасности ГТС, финансируемая ранее из Внебюджетного фонда НИОКР корпорации ЕЭЭК, в 2000 г. практически не финансируется.

Принимая во внимание всю полноту ответственности РАО «ЕЭС России» за безаварийную эксплуатацию крупных гидротехнических сооружений страны, следует потребовать от всех руководителей энергообъектов выделения необходимого финансирования мероприятий по повышению их безопасности. Представляется необходимым выделять эти затраты в смете эксплуатации объекта отдельной строкой и включать их в состав затрат, относимых на себестоимость продукции. Вопрос этот достаточно сложен, требует соответствующего решения Федеральной энергетической комиссии, но его нужно ре-

шать. Также необходимо ходатайствовать перед Правительством РФ об увеличении до 50% объема страховых средств, отчисляемых в фонд превентивных мероприятий, формируемых страховыми компаниями. Именно такой порядок отчислений считается оптимальным в странах с развитой системой страхования промышленных объектов. Существует также потенциальная возможность получения бюджетных средств по Федеральной программе «Безопасность гидротехнических сооружений».

Обеспечение техническими средствами диагностики гидротехнических сооружений.

Актуальность рассматриваемого направления определяется следующими обстоятельствами:

1. Значительная часть ГЭС эксплуатируемых электростанций либо вообще не оснащена контрольно-измерительной аппаратурой (КИА), либо эта оснащенность недостаточна с точки зрения сегодняшних подходов к оценке безопасности сооружений.

2. Оснащение КИА сооружений крупных гидроузлов происходило, как правило, в процессе их строительства и к настоящему времени эти приборы либо вышли из строя, либо достоверность их показаний является весьма спорной. Замена закладной КИА на аналогичные типы, как правило, невозможна.

3. Снятие показаний приборов и их обработка в ряде случаев производится вручную, полученные данные могут зависеть от квалификации и добросовестности эксплуатационного персонала. Получаемые результаты сложно анализировать, в том числе при обследовании состояния сооружений комиссиями экспертов.

4. В стране не сохранилось промышленное производство технических средств диагностики гидросооружений. Возможности АО НИИЭС, который в течение многих лет был разработчиком и изготовителем малых партий КИА и на базе которого в этом году был создан отраслевой центр опытно-промышленного изготовления технических средств диагностики сооружений электростанций РАО «ЕЭС России», не превышают 200 – 400 приборов в год и полностью используются в настоящее время при выполнении заказов достраиваемых ГЭС (Богучанской, Бурейской).

С учетом перечисленных обстоятельств за последнее время:

разработаны на единой элементной базе преобразователи и вторичная аппаратура в номенклатуре, обеспечивающей контроль напряженно-деформированного состояния, фильтрационного, гидравлического и температурного режима ГЭС;

разработаны технические средства и программное обеспечение для автоматизированного контроля состояния ГТС;

разработаны типовые системы компьютерной диагностики ГЭС и ТЭС, ряд крупных гидроузлов оснащен компьютерными информационно-диагностическими системами контроля состояния сооружений (каскад Волжско-Камских ГЭС, Братская, Саяно-Шушенская ГЭС, Загорская ГАЭС);

разработаны и совершенствуются методы и средства оперативно-го инструментального обследования состояния сооружений.

В ближайшей перспективе представляется необходимым:

На основе использования современной элементной базы разработать прецизионные технические средства диагностики сооружений, обладающие необходимой долговечностью и ремонтпригодностью, в том числе средств для оперативного контроля в ходе обследования сооружений;

завершить формирование отраслевого центра опытно-промышленного производства технических средств диагностики сооружений и оборудования электростанций, обеспечить выпуск основной номенклатуры технических средств по заявкам электростанций.

завершить оснащение всех крупных электростанций РАО «ЕЭС России» компьютерными информационно-диагностическими системами контроля безопасности основных сооружений ГЭС и ТЭС. Приступить к разработке и установке на электростанциях систем диагностики оборудования, от работоспособности которого зависит безопасность ГТС (затворы, подъемное оборудование, гидроагрегаты ГЭС);

сформировать отраслевой информационно-диагностический центр РАО «ЕЭС России» по контролю безопасности сооружений и оборудования электростанций, предназначенный для аккумуляции данных объектовых информационно-диагностических систем.

Научно-техническое обеспечение проблемы «Безопасность гидротехнических сооружений»

Научно-исследовательские работы по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений проводились в РАО «ЕЭС России» в рамках трех научно-технических программ: 0.05 «Гидроэлектростанции и энергетические сооружения», 0.11 «Сейсмостойкость энергетических объектов» и отраслевой программы «Безопасность энергетических сооружений», а также по прямым договорам с АО-энерго и АО- электростанций.

При рассмотрении основных направлений обеспечения безопасности ГТС я в той или иной степени касался и научного сопровож-

дения каждого направления. Поэтому в рамках настоящего раздела остановлюсь только на вопросах, не рассмотренных ранее.

За последнее время научными организациями получены следующие результаты (рис. 5):

разработаны современные методы математического моделирования в двух- и трехмерной постановке напряженно-деформированного состояния систем «основание-сооружение-водохранилище» как при статических, так и при динамических воздействиях, моделирования гидравлического, фильтрационного и температурного режимов таких систем; созданы и внедрены в практику научных и проектных организаций мощные программные средства реализации указанных моделей;

в отраслевых институтах сформированы научные кадры высокой квалификации, способные решать указанные задачи и интерпретировать полученные результаты;

разработаны методы расчетной оценки надежности и безопасности ГТС как в вероятностной, так и детерминированной постановке, в том числе с учетом неопределенностей различной природы (исходных данных, расчетных моделей, ошибок и пр.), а также с учетом как количественной, так и качественной информации;

разработаны и широко используются современные методы натурных наблюдений за состоянием эксплуатируемых ГТС с применением как инструментальных данных, так и визуальной информации и с построением прогнозных моделей;

ведутся комплексные научно-исследовательские работы по обеспечению безопасной эксплуатации конкретных гидротехнических объектов, в том числе Загорской ГАЭС, ГЭС Волжско-Камского каскада, ТЭЦ Мосэнерго, ряда ГРЭС и ТЭС.

Эти работы имеют целью проведение натурных исследований и наблюдений, оценку НДС сооружений, разработку критериев безопасности сооружений, разработку деклараций их безопасности.

В ближайшей перспективе в рамках рассматриваемого направления необходимо:

разработать оперативные методы получения исходной информации о состоянии системы «сооружение-основание-водохранилище» в форме, пригодной для реализации математической модели;

разработать типовые методы «калибровки» математических моделей на основе данных натурных наблюдений, оценки адекватности расчетных моделей, оценки достоверности данных натурных наблюдений;

организовать сертификацию используемых в отрасли программных средств.

Получены результаты:

- Разработаны современные методы математического моделирования НДС, гидравлического, фильтрационного и температурного режимов систем «основание – сооружение – водохранилище»
- В отраслевых институтах сформированы научные кадры высокой квалификации
- Разработаны методы расчетной оценки надежности и безопасности ГТС
- Разработаны современные методы натуральных наблюдений за состоянием эксплуатируемых ГТС
- Ведутся комплексные НИР по обеспечению безопасной эксплуатации конкретных гидротехнических объектов

Необходимо выполнять:

- Разработать оперативные методы получения исходной информации о состоянии системы «сооружение – основание – водохранилище»
- Разработать типовые методы «калибровки математических моделей» на основе данных натуральных наблюдений
- Организовать сертификацию используемых в отрасли программных средств
- Разработать типовые правила охраны гидроэлектростанций

Рис. 5. Научно-техническое обеспечение проблемы «Безопасность гидротехнических сооружений».

Несколько слов еще по трем перспективным направлениям научного обеспечения безопасности ГТС.

По данным СИГБ, анализирующих причины аварий больших плотин, более половины грунтовых плотин были разрушены из-за перелива воды через гребень.

Опыт эксплуатации гидроузлов России показывает, что требуют уточнения, с использованием данных наблюдений величины реч-

ного стока за последнее десятилетие, параметры максимального стока для гидроузлов, построенных 30 и более лет назад, которые определялись по относительно коротким рядам наблюдений.

Работы по уточнению исходных гидрологических характеристик крупнейших гидроузлов России ведутся в рамках программы «Безопасность энергетических сооружений» (задание «Гидрологическая безопасность») в АО «Институт Гидропроект» под руководством доктора технических наук Асарина А.Е. и требуют развития и завершения.

Важнейшим фактором, во многом определяющим безопасность большинства крупных плотин России, является высокая сейсмичность районов их расположения.

За период утверждения, строительства и эксплуатации гидроэлектростанции, как правило, накапливаются новые данные о сейсмичности в районе ГЭС. Указанное обстоятельство требует корректировки принятых при проектировании оценок сейсмических условий и учета этих изменений при эксплуатации объектов.

Оценка современных сейсмических условий створов гидроузлов, учитывающая результаты наблюдений за период их эксплуатации, выполняется в ЦСГНЭО - филиале АО «Институт Гидропроект» под руководством доктора физико-математических наук Савича А.И.

Указанные работы проводились в рамках ОНТП 0.11 и в настоящее время фактически не финансируются несмотря на очевидную необходимость их завершения.

В последнее время резко возросло внимание к системам физической защиты энергетических объектов по недопущению умышленных либо неумышленных действий отдельных граждан по физическому уничтожению либо повреждению указанных объектов. В соответствии с приказом Минэнерго России, РАО «ЕЭС России» ведет в настоящее время разработку правил физической защиты гидротехнических сооружений электроэнергетической отрасли. Эта тема включена в состав заданий отраслевой программы «Безопасность энергетических сооружений», выполняет ее АО НИИЭС с привлечением соответствующих органов МВД и ФСБ России.

Детальное рассмотрение этих вопросов показало целесообразность интегрирования систем физической защиты гидросооружений с системами контроля их технической безопасности. Разработка и установка на объектах таких систем может явиться одним из перспективных направлений научно-технической деятельности РАО «ЕЭС России».

Информационное обеспечение мероприятий по контролю безопасности гидротехнических сооружений.

Проведение комплекса мероприятий по реализации Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» требует их серьезного информационного обеспечения. Речь идет об обмене информацией между всеми участниками проведения этих мероприятий, включая специалистов эксплуатирующих организаций, органов надзора, проектных и научно-исследовательских организаций, страховых компаний, органов власти всех уровней. Целью такого обмена является повышение научно-технического уровня и надежности (достоверности) всех разработок в области безопасности ГТС, а также привлечение к этой проблеме интереса (в том числе и финансового) со стороны широкого круга организаций и специалистов.

Естественно, прежде всего должны быть использованы традиционные информационные технологии: совещания, выставки, выпуск научно-технических и производственных сборников, издание журналов, монографий, интернет (рис. 6).

АО НИИЭС предпринимает в этом направлении определенные шаги. Выпускается сборник «Безопасность энергетических сооружений», используются возможности различных выставок, в том числе на Всемирной выставке ЭКСПО-2000 демонстрировались два экспоната института: новая конструкция ПЭС с ортогональными гидроагрегатами и информационно-диагностическая система контроля безопасности каскада ГЭС.

Многое делает в этом направлении журнал «Гидротехническое строительство», издающий в этом году приложение к журналу - «Безопасность гидротехнических сооружений».

Представляется целесообразным рассмотреть возможность выпуска отраслевого сборника «Безопасность гидротехнических сооружений», в рамках сайта РАО «ЕЭС России» в интернете предусмотреть блок «Безопасность энергетических сооружений», шире использовать возможности средств массовой информации (печать, радио, телевидение).

Специально хочу остановиться на использовании возможностей Международного комитета по большим плотинам (СИГБ) и его технического комитета по безопасности плотин. Участие специалистов РАО «ЕЭС России» в работе этой весьма представительной организации явно недостаточно. Работа эта явно пущена на самотек, и мы здесь многое теряем как в информационной, так и в представительской части.

дения каждого направления. Поэтому в рамках настоящего раздела остановлюсь только на вопросах, не рассмотренных ранее.

За последнее время научными организациями получены следующие результаты (рис. 5):

разработаны современные методы математического моделирования в двух- и трехмерной постановке напряженно-деформированного состояния систем «основание-сооружение-водохранилище» как при статических, так и при динамических воздействиях, моделирования гидравлического, фильтрационного и температурного режимов таких систем; созданы и внедрены в практику научных и проектных организаций мощные программные средства реализации указанных моделей;

в отраслевых институтах сформированы научные кадры высокой квалификации, способные решать указанные задачи и интерпретировать полученные результаты;

разработаны методы расчетной оценки надежности и безопасности ГТС как в вероятностной, так и детерминированной постановке, в том числе с учетом неопределенностей различной природы (исходных данных, расчетных моделей, ошибок и пр.), а также с учетом как количественной, так и качественной информации;

разработаны и широко используются современные методы натурных наблюдений за состоянием эксплуатируемых ГТС с применением как инструментальных данных, так и визуальной информации и с построением прогнозных моделей;

ведутся комплексные научно-исследовательские работы по обеспечению безопасной эксплуатации конкретных гидротехнических объектов, в том числе Загорской ГАЭС, ГЭС Волжско-Камского каскада, ТЭЦ Мосэнерго, ряда ГРЭС и ТЭС.

Эти работы имеют целью проведение натурных исследований и наблюдений, оценку НДС сооружений, разработку критериев безопасности сооружений, разработку деклараций их безопасности.

В ближайшей перспективе в рамках рассматриваемого направления необходимо:

разработать оперативные методы получения исходной информации о состоянии системы «сооружение-основание-водохранилище» в форме, пригодной для реализации математической модели;

разработать типовые методы «калибровки» математических моделей на основе данных натурных наблюдений, оценки адекватности расчетных моделей, оценки достоверности данных натурных наблюдений;

организовать сертификацию используемых в отрасли программных средств.

Получены результаты:

- Разработаны современные методы математического моделирования НДС, гидравлического, фильтрационного и температурного режимов систем «основание – сооружение – водохранилище»
- В отраслевых институтах сформированы научные кадры высокой квалификации
- Разработаны методы расчетной оценки надежности и безопасности ГЭС
- Разработаны современные методы натуральных наблюдений за состоянием эксплуатируемых ГЭС
- Ведутся комплексные НИР по обеспечению безопасной эксплуатации конкретных гидротехнических объектов

Необходимо выполнять:

- Разработать оперативные методы получения исходной информации о состоянии системы «сооружение – основание – водохранилище»
- Разработать типовые методы «калибровки математических моделей» на основе данных натуральных наблюдений
- Организовать сертификацию используемых в отрасли программных средств
- Разработать типовые правила охраны гидроэлектростанций

Рис. 5. Научно-техническое обеспечение проблемы «Безопасность гидротехнических сооружений».

Несколько слов еще по трем перспективным направлениям научного обеспечения безопасности ГЭС.

По данным СИГБ, анализирующих причины аварий больших плотин, более половины грунтовых плотин были разрушены из-за перелива воды через гребень.

Опыт эксплуатации гидроузлов России показывает, что требуют уточнения, с использованием данных наблюдений величины реч-

ного стока за последнее десятилетие, параметры максимального стока для гидроузлов, построенных 30 и более лет назад, которые определялись по относительно коротким рядам наблюдений.

Работы по уточнению исходных гидрологических характеристик крупнейших гидроузлов России ведутся в рамках программы «Безопасность энергетических сооружений» (задание «Гидрологическая безопасность») в АО «Институт Гидропроект» под руководством доктора технических наук Асарина А.Е. и требуют развития и завершения.

Важнейшим фактором, во многом определяющим безопасность большинства крупных плотин России, является высокая сейсмичность районов их расположения.

За период утверждения, строительства и эксплуатации гидроэлектростанции, как правило, накапливаются новые данные о сейсмичности в районе ГЭС. Указанное обстоятельство требует корректировки принятых при проектировании оценок сейсмических условий и учета этих изменений при эксплуатации объектов.

Оценка современных сейсмических условий створов гидроузлов, учитывающая результаты наблюдений за период их эксплуатации, выполняется в ЦСГНЭО - филиале АО «Институт Гидропроект» под руководством доктора физико-математических наук Савича А.И.

Указанные работы проводились в рамках ОНТП 0.11 и в настоящее время фактически не финансируются несмотря на очевидную необходимость их завершения.

В последнее время резко возросло внимание к системам физической защиты энергетических объектов по недопущению умышленных либо неумышленных действий отдельных граждан по физическому уничтожению либо повреждению указанных объектов. В соответствии с приказом Минэнерго России, РАО «ЕЭС России» ведет в настоящее время разработку правил физической защиты гидротехнических сооружений электроэнергетической отрасли. Эта тема включена в состав заданий отраслевой программы «Безопасность энергетических сооружений», выполняет ее АО НИИЭС с привлечением соответствующих органов МВД и ФСБ России.

Детальное рассмотрение этих вопросов показало целесообразность интегрирования систем физической защиты гидросооружений с системами контроля их технической безопасности. Разработка и установка на объектах таких систем может явиться одним из перспективных направлений научно-технической деятельности РАО «ЕЭС России».

Информационное обеспечение мероприятий по контролю безопасности гидротехнических сооружений.

Проведение комплекса мероприятий по реализации Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» требует их серьезного информационного обеспечения. Речь идет об обмене информацией между всеми участниками проведения этих мероприятий, включая специалистов эксплуатирующих организаций, органов надзора, проектных и научно-исследовательских организаций, страховых компаний, органов власти всех уровней. Целью такого обмена является повышение научно-технического уровня и надежности (достоверности) всех разработок в области безопасности ГТС, а также привлечение к этой проблеме интереса (в том числе и финансового) со стороны широкого круга организаций и специалистов.

Естественно, прежде всего должны быть использованы традиционные информационные технологии: совещания, выставки, выпуск научно-технических и производственных сборников, издание журналов, монографий, интернет (рис. 6).

АО НИИЭС предпринимает в этом направлении определенные шаги. Выпускается сборник «Безопасность энергетических сооружений», используются возможности различных выставок, в том числе на Всемирной выставке ЭКСПО-2000 демонстрировались два экспоната института: новая конструкция ПЭС с ортогональными гидроагрегатами и информационно-диагностическая система контроля безопасности каскада ГЭС.

Многое делает в этом направлении журнал «Гидротехническое строительство», издающий в этом году приложение к журналу - «Безопасность гидротехнических сооружений».

Представляется целесообразным рассмотреть возможность выпуска отраслевого сборника «Безопасность гидротехнических сооружений», в рамках сайта РАО «ЕЭС России» в интернете предусмотреть блок «Безопасность энергетических сооружений», шире использовать возможности средств массовой информации (печать, радио, телевидение).

Специально хочу остановиться на использовании возможностей Международного комитета по большим плотинам (СИГБ) и его технического комитета по безопасности плотин. Участие специалистов РАО «ЕЭС России» в работе этой весьма представительной организации явно недостаточно. Работа эта явно пущена на самотек, и мы здесь многое теряем как в информационной, так и в представительской части.

ного стока за последнее десятилетие, параметры максимального стока для гидроузлов, построенных 30 и более лет назад, которые определялись по относительно коротким рядам наблюдений.

Работы по уточнению исходных гидрологических характеристик крупнейших гидроузлов России ведутся в рамках программы «Безопасность энергетических сооружений» (задание «Гидрологическая безопасность») в АО «Институт Гидропроект» под руководством доктора технических наук Асарина А.Е. и требуют развития и завершения.

Важнейшим фактором, во многом определяющим безопасность большинства крупных плотин России, является высокая сейсмичность районов их расположения.

За период утверждения, строительства и эксплуатации гидроэлектростанции, как правило, накапливаются новые данные о сейсмичности в районе ГЭС. Указанное обстоятельство требует корректировки принятых при проектировании оценок сейсмических условий и учета этих изменений при эксплуатации объектов.

Оценка современных сейсмических условий створов гидроузлов, учитывающая результаты наблюдений за период их эксплуатации, выполняется в ЦСГНЭО - филиале АО «Институт Гидропроект» под руководством доктора физико-математических наук Савича А.И.

Указанные работы проводились в рамках ОНТП 0.11 и в настоящее время фактически не финансируются несмотря на очевидную необходимость их завершения.

В последнее время резко возросло внимание к системам физической защиты энергетических объектов по недопущению умышленных либо неумышленных действий отдельных граждан по физическому уничтожению либо повреждению указанных объектов. В соответствии с приказом Минэнерго России, РАО «ЕЭС России» ведет в настоящее время разработку правил физической защиты гидротехнических сооружений электроэнергетической отрасли. Эта тема включена в состав заданий отраслевой программы «Безопасность энергетических сооружений», выполняет ее АО НИИЭС с привлечением соответствующих органов МВД и ФСБ России.

Детальное рассмотрение этих вопросов показало целесообразность интегрирования систем физической защиты гидросооружений с системами контроля их технической безопасности. Разработка и установка на объектах таких систем может явиться одним из перспективных направлений научно-технической деятельности РАО «ЕЭС России».

Информационное обеспечение мероприятий по контролю безопасности гидротехнических сооружений.

Проведение комплекса мероприятий по реализации Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» требует их серьезного информационного обеспечения. Речь идет об обмене информацией между всеми участниками проведения этих мероприятий, включая специалистов эксплуатирующих организаций, органов надзора, проектных и научно-исследовательских организаций, страховых компаний, органов власти всех уровней. Целью такого обмена является повышение научно-технического уровня и надежности (достоверности) всех разработок в области безопасности ГТС, а также привлечение к этой проблеме интереса (в том числе и финансового) со стороны широкого круга организаций и специалистов.

Естественно, прежде всего должны быть использованы традиционные информационные технологии: совещания, выставки, выпуск научно-технических и производственных сборников, издание журналов, монографий, интернет (рис. 6).

АО НИИЭС предпринимает в этом направлении определенные шаги. Выпускается сборник «Безопасность энергетических сооружений», используются возможности различных выставок, в том числе на Всемирной выставке ЭКСПО-2000 демонстрировались два экспоната института: новая конструкция ПЭС с ортогональными гидроагрегатами и информационно-диагностическая система контроля безопасности каскада ГЭС.

Многое делает в этом направлении журнал «Гидротехническое строительство», издающий в этом году приложение к журналу - «Безопасность гидротехнических сооружений».

Представляется целесообразным рассмотреть возможность выпуска отраслевого сборника «Безопасность гидротехнических сооружений», в рамках сайта РАО «ЕЭС России» в интернете предусмотреть блок «Безопасность энергетических сооружений», шире использовать возможности средств массовой информации (печать, радио, телевидение).

Специально хочу остановиться на использовании возможностей Международного комитета по большим плотинам (СИГБ) и его технического комитета по безопасности плотин. Участие специалистов РАО «ЕЭС России» в работе этой весьма представительной организации явно недостаточно. Работа эта явно пущена на самотек, и мы здесь многое теряем как в информационной, так и в представительской части.

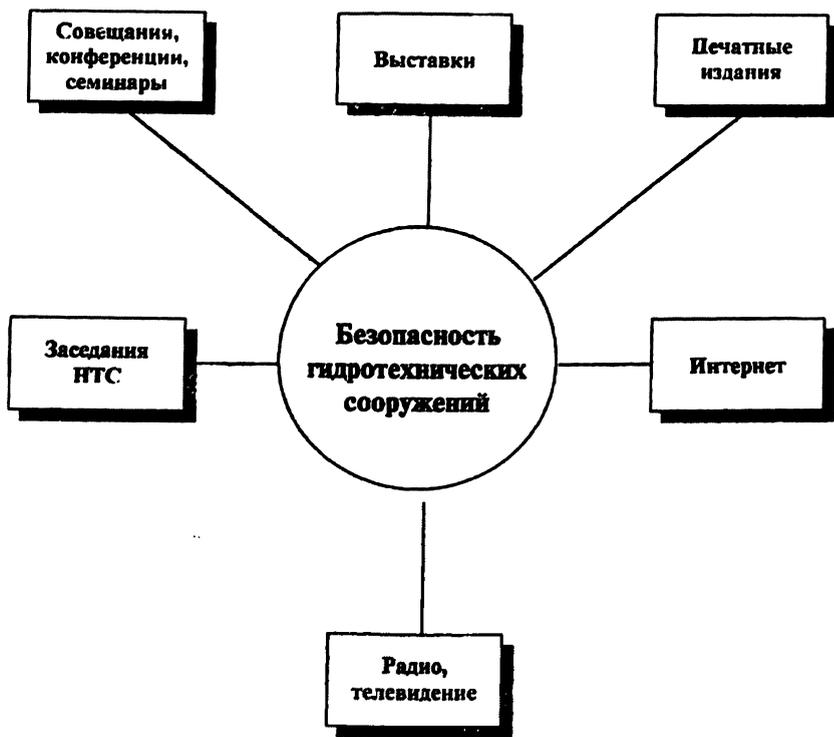


Рис. 6. Информационное обеспечение мероприятий по контролю безопасности гидротехнических сооружений.

В заключение необходимо еще раз подчеркнуть чрезвычайную важность проблемы обеспечения безопасности энергетических сооружений в концепции развития электроэнергетики страны, проблемы, которая с годами будет обостряться в связи с увеличением сроков существования энергетических объектов, и выразить надежду в успешном ее решении.

**ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА ВЫЕЗДНОГО СОВМЕСТНОГО
ЗАСЕДАНИЯ НТС РАО «ЭЭС РОССИИ» И НАУЧНОГО СОВЕТА РАН
ПО ПРОБЛЕМАМ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ БОЛЬШИХ
СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ ПО ТЕМЕ: «ПРОЕКТ ПРОГРАММЫ
РАЗВИТИЯ И КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ
ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ НА ПЕРИОД ДО 2015 ГОДА»**

***III. Предложения к Концепции и программные задачи по
обеспечению безопасности гидротехнических сооружений ГЭС.***

Важнейшей проблемой Российских ГЭС является их старение.

В настоящее время на 12 ГЭС срок эксплуатации превысил 50 лет. Это Волховская ГЭС — пущена в 1926 году, ее мощность 66 МВт, Кондопожская (соответственно в 1928 г.; 15,6 МВт), Нива-2 (1934 г.; 60 МВт), Нива-1 (1934 г.; 26 МВт), Нижнесвирская (1936 г.; 109,1 МВт), Баксанская (1936 г.; 25 МВт). Нижнетуломская (1938 г.; 50 МВт), Угличская (1940 г., 110 МВт), Рыбинская (1941 г.; 330 МВт), Лесогорская (1944 г.; 108 МВт), Светлогорская (1945 г., 100,5 МВт), Широковская (1947 г.; 28 МВт).

К 2010 году переходят через 50-летний рубеж еще 20 ГЭС. Среди них Нива-3 (155,5), Янискоси (30,5), Верхнесвирская (160), Маткожненская (63), Цимлянская (204), Камская (483), Пальеозерская (25), Белореченская (48), Эзминская (45), Волжская им.Ленина (2300), Нижегородская (520), Князегубская (152), Раякоскн (43), Нарвская (125), Иркутская (662), Новосибирская (455), Ондская (80), Волгоградская (2541), Павловская (166), Иовская (96).

В целом это 32 гидроэлектростанции, суммарной установленной мощностью 94 млн. кВт и годовой выработкой около 40 млрд кВт · ч., что составляет почти 33% о общего количества ГЭС, более 20 % их установленной мощности и более 25 % их общей выработки электроэнергии.

Переход через 50-летний рубеж является принципиальным. Требуется проведение серьезных исследований состояния гидроузла в целом и, прежде всего, надежности его гидротехнических сооружений.

Как показывают материалы ОАО «Фирма ОРГРЭС, на многих гидроэлектростанциях не обеспечивается надежная эксплуатация грунтовых и бетонных плотин. Особенно опасна потеря несущей способности металлоконструкций затворов, их неисправность и неработоспособность, разрушение закладных и опорно-ходовых частей, повреждение и износ грузоподъемных механизмов.

По результатам проведенных обследований ограничения пропускной способности имеют 20 ГЭС, в том числе: Вилюйская, Усть-

Хантайская, Саратовская, Майнская, Ириклинская, Миатлинская и Гергебильская гидроэлектростанции.

Проблемы безопасности гидротехнических сооружений ГЭС требуют постоянного повышенного внимания. Об этом свидетельствуют и участвовавшие в последнее время в России и мире техногенные аварии и катастрофы.

В 1999 году НТС РАО «ЕЭС России» рассматривал вопросы, связанные с ходом выполнения Закона «О безопасности гидротехнических сооружений». В соответствии с принятым решением в настоящее время разработаны и разосланы на отзывы методические документы «Методика назначения критериев безопасности ГТС» и «Методика определения размера ущерба в результате аварии ГТС».

Разработан проект Федерального закона «Об обязательном страховании риска гражданской ответственности собственника гидротехнических сооружений».

Разработаны компьютерные информационно-диагностические системы контроля безопасности основных сооружений ГЭС и ТЭС.

Вместе с тем, реальные проблемы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений требуют решения новых задач как в текущем плане, так и на долговременной основе.

НТС РАО «ЕЭС России» и Научный Совет РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики по III вопросу решили.

1. Завершить в 2001 году:

декларирование безопасности гидротехнических сооружений первоочередных электростанций в соответствии с утвержденным графиком;

разработку нормативных правовых актов и нормативно-методических документов для реализации Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» на длительную перспективу.

2. Выпустить в 2001 г. новую редакцию «Правил отраслевых обследований состояния гидротехнических сооружений электрических станций», переработанных с учетом требований нормативно-методических документов по декларированию безопасности гидротехнических сооружений. Предусмотреть в указанных Правилах использование наряду с экспертными методами инструментальных экспресс-методов оценки состояния сооружений.

3. Просить Заместителя Председателя Правления — главного инженера РАО «ЕЭС России» Воронина В.П.:

с привлечением АО «Фирма ОРГРЭС», ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», АО «ЦСГНЭО», АО «НИИЭС» рассмотреть и решить

вопрос об образовании отраслевой службы инструментального обследования состояния сооружений и оборудования электростанций и отраслевого информационно-диагностического центра РАО «ЕЭС России» по контролю безопасности сооружений и оборудования электростанций;

рассмотреть вопрос о выделении средств на формирование отраслевого центра промышленного производства технических средств диагностики сооружений и оборудования электрических станций, созданного в соответствии с приказом РАО «ЕЭС России» от 14.06.2000 г. № 342 на основе производственно-экспериментальной базы АО «НИИЭС. АО «НИИЭС» обеспечить к 2002 г. выпуск основной номенклатуры технических средств диагностики в соответствии с заявками электростанций.

4. Поручить АО НИИЭС и ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» осуществить на договорной основе с электростанциями в 2001–2005 гг. оснащение всех крупных электростанций РАО «ЕЭС России» компьютерными информационно-диагностическими системами контроля безопасности основных сооружений ГЭС и ТЭС и оборудования ГЭС.

5. Рекомендовать Департаменту научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России» пролонгировать до 2005 г. и обеспечить финансирование отраслевой программы Минэнерго России и РАО «ЕЭС России» «Безопасность энергетических сооружений», срок действия которой истекает в 2000 г. Включить в состав программы тему: «Разработать концепцию и программные задачи по обеспечению безопасности сооружений ГЭС и ТЭС на длительную перспективу».

6. Считать необходимым повысить уровень работы специалистов гидротехников и гидроэнергетиков РАО «ЕЭС России» в деятельности Национального Комитета по большим плотинам, а также активность их участия в деятельности Международного комитета по большим плотинам (СИГБ), включая технический комитет по безопасности плотин.

7. Поручить АО НИИЭС издать материалы настоящего заседания НТС РАО «ЕЭС России» и Научного Совета РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики в сборнике «Безопасность энергетических сооружений».

СОДЕРЖАНИЕ

<i>От Организационного комитета</i>	3
<i>Радкевич Д.Б.</i> О декларировании безопасности гидротехнических сооружений и об отраслевых требованиях декларирования безопасности ГТС	6
<i>Зотов В.М.</i> Цели и задачи планового обследования эксплуатируемых ГЭС. О «Правилах обследования ГТС электростанций»	12
<i>Бритвин С.О., Белостоцкий А.М., Щербина В.И., Лобач А.А., Бердичевский Г.Ю.</i> Современные компьютерные системы мониторинга состояния ГТС. Опыт разработки и эксплуатации	18
<i>Бритвин С.О., Коновалов И.К., Блинов И.Ф.</i> Современные средства и методы инструментальной оценки состояния гидросооружений	33
<i>Савич А.И., Семенов И.В., Храпков А.А.</i> Современное состояние и пути обеспечения сейсмостойкости и геодинамической безопасности энергообъектов	40
<i>Пащенко Ю.А.</i> Мир неразрушающего контроля	59
<i>Радкевич Д.Б., Орлов А.В., Иващенко И.Н.</i> Отражение в декларации безопасности информации о финансовом обеспечении гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии ГТС	60
<i>Сольский С.В., Никитина Н.Я.</i> Анализ опыта декларирования безопасности гидротехнических сооружений гидро- и теплоэлектростанций в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»	67
<i>Блинов И.Ф.</i> Опыт декларирования безопасности гидротехнических сооружений в АО НИИЭС	74
<i>Лобанов А.Н.</i> Страхование гражданской ответственности в гидроэнергетике	78
<i>Вахромеев А.К., Троицкий А.В.</i> Декларирование безопасности ГТС на стадии проектирования	81
<i>Калустьян Э.С.</i> Сценарий отказов бетонных плотин и их учет при декларировании безопасности гидросооружений	84
<i>Беллендир Е.Н., Иващенко И.Н., Новоженин В.Д.</i> Основные положения «Методики определения критериев безопасности гидротехнических сооружений»	86
<i>Храпков А.А., Дурчева В.Н.</i> Особенности определения критериев безопасности бетонных гидротехнических сооружений	93
<i>Филиппова Е.А.</i> Критерии безопасности и оценка состояния эксплуатируемых грунтовых гидротехнических сооружений	99

<i>Соловьев А.Н.</i> Особенности декларирования ГЭС, эксплуатирующихся длительное время	108
<i>Варга А.А., Ременяк М.Б.</i> Некоторые инженерно-геологические аспекты анализа безопасности ГЭС	113
<i>Бронштейн В.И.</i> Уязвимость и сценарии разрушения ГЭС при сейсмических воздействиях. Методы повышения сейсмостойкости эксплуатируемых плотин	118
<i>Грошев М.Е.</i> Методы и программные средства для оценки сейсмонапряженного состояния и безопасности сооружений гидравлических и тепловых электростанций	130
<i>Кондрашкин А.В., Кривоногова Н.Ф., Щемелихин В.В.</i> Применение комплекса электро- и термометрических методов при обследовании грунтовых плотин	140
<i>Белостоцкий А.М., Белый М.В., Рассказов Л.Н., Желанкин В.Г.</i> Разработка калиброванных математических моделей напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений (на примере склона ЗГАЭС).....	153
<i>Блинов И.Ф., Комельков Л.В., Ронжин И.С., Пахневич О.С.</i> О назначении критериев безопасности гидротехнических сооружений Волжской ГЭС.....	167
<i>Арефьев Н.В., Василевский А.Г., Добрынин С.Н., Ивашинцов Д.А.</i> Методика оценки вероятности возникновения аварийных ситуаций на сложных однотипных объектах	177
<i>Файн И.И., Троицкий А.В., Иващенко И.Н.</i> Методика упрощенной оценки ущерба, вызываемых авариями ГЭС	182
<i>Климович В.И., Прокофьев В.А.</i> Опыт практических расчетов зон затопления и параметров волны прорыва для ЗШО и каскадов ГЭС	187
<i>Радкевич Д.Б., Белостоцкий А.М., Школьников С.Я.</i> О сертификации методик и программных продуктов, применяемых при обосновании безопасности ГЭС	201
<i>Желанкин В.Г.</i> Использование нормативных методов при оценке безопасности ГЭС	207
<i>Дудченко Л.Н.</i> Исследование параметров колебаний энергетических сооружений при техногенных и сейсмических воздействиях	213
<i>Никитина Н.Я.</i> Методические основы анализа и оценки риска аварий гидротехнических сооружений различных типов и назначения	221
<i>Ильин М.М., Речицкий В.И., Милкис Е.Г., Степанов М.И.</i> Оперативное обследование энергообъектов с использованием комплекса неразрушающих методов	233

<i>Брызгалов В.И., Гордон Л.А.</i> Критерии безопасности плотины Саяно-Шушенской ГЭС.	243
<i>Рахманова А.А.</i> Опыт визуальных и инструментальных исследований механического оборудования гидросооружений ГЭС, ГАЭС и ТЭЦ	274
<i>Штенгель В.Г.</i> Опыт использования комплекса методов неразрушающего контроля в диагностике массивных железобетонных конструкций	280
<i>Храпков А.А.</i> Основные положения новых редакций СНиП, разрабатываемых на основе требований Федерального закона «О безопасности ГТС»	285
<i>Клабуков В.М., Черненко В.Н.</i> Методы инструментального обследования фильтрационных расходов в дренажных системах водоприемников и зданий ГЭС и ГАЭС	288
<i>Бритвин С.О.</i> Предложения к концепции и программные задачи по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений ГЭС	293
<i>Выписка из Протокола</i>	309

**Безопасность энергетических сооружений.
Сборник**

**Научный редактор Семенов И.В.,
Технический редактор Т.А.Григорьева
Оригинал-макет и компьютерная верстка А.Г. Мелихова**

**Подписано в печать 13.12. 2000
Формат 60x90/16. Гарнитура Таймс
Бумага офс. №1. Печать офсетная.
Объем 20 п.л. Тираж 1000 экз.**

ИПЦ «Глобус», г. Москва, Тверская застава, 3.

Заказ № 349.

**Отпечатано в типографии ООО «ГЕО-ТЭК»
г. Красноармейск, Московской области.
Тел.: 254-97-27, 254-99-58, 584-16-23.**