

Научно-технический и производственный сборник

# БЭС

## Безопасность энергетических сооружений

Научно-исследовательский институт

**НИИЭС**

энергетических сооружений

Вып. 14  
2004

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

---

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

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ  
СБОРНИК**

**Выпуск 14**

**МОНИТОРИНГ, КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА  
И АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ**

**Москва  
2004**

УДК 621.311

Председатель редакционного совета: к.т.н. С.О. Бритвин  
Научный редактор: к.т.н. В.И. Щербина

**Безопасность энергетических сооружений.** // Научно-технический и производственный сборник. Вып. 14. ОАО «НИИЭС». М.: 2004. 224 с.

В настоящем выпуске сборника помещены статьи, охватывающие широкий круг вопросов, связанных с мониторингом состояния энергетических сооружений, расчетами их напряженно-деформированного состояния, а также используемыми для мониторинга приборами и методами наблюдений.

Сборник начинается статьей об особенностях организации контроля безопасности гидротехнических сооружений в условиях происходящего в настоящее время реформирования в энергетической отрасли. В одной из статей обсуждаются методические подходы к оценке технического состояния гидротехнических сооружений на речных транспортных магистралях. Несколько статей посвящены вопросам автоматизированного контроля статических и сейсмических процессов, наблюдаемых на сооружениях. В частности, интересен опыт и используемые измерительные системы для контроля деформаций оползневого склона Загорской ГАЭС.

В одной из статей рассматривается опыт внедрения информационно-диагностической системы для контроля состояния гидромеханического оборудования. Ряд статей посвящен исследованию свойств бетона, в том числе работающего в условиях вечной мерзлоты. Рассмотрены вопросы технологии укладки грунта верхнего водоема ГАЭС.

Вновь поднят вопрос о причинах вибрации жилых домов, расположенных в нижнем бьефе Волжской ГАЭС им. В.И. Ленина при пропуске паводка с высоким расходом.

Наконец, ряд статей касается вопросов экологического мониторинга водохранилищ и городских водоемов.

Рассмотрены различные методы контроля и обследований гидротехнических конструкций и сооружений.

ОАО «НИИЭС», 125362, Москва, а/я 393, Строительный проезд, д. 7а  
Телефон: 493 51 32, 497-21-51 Факс: (095) 363 56 51  
E-mail: pressnto@mtu-net.ru

ISBN 5-902144-06-X

© ОАО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», 2004

## **ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОГО СОСТОЯНИЯ ГТС В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*Бритвин С.О., Щербина В.И.,  
кандидаты техн. наук (ОАО «НИИЭС»)*

Организация мониторинга безопасного состояния ГТС в 1970-90-х гг. при централизованном управлении со стороны Минэнерго СССР, затем РАО «ЕЭС России» была поставлена следующим образом. Все ответственные гидротехнические сооружения (I-III-го классов ответственности) в процессе строительства оснащались контрольно-измерительной аппаратурой (КИА). Регулярные наблюдения за показаниями этой КИА проводили квалифицированные специалисты гидроцехов. Как правило, эти специалисты прошли школу строительства гидростанции, поэтому они достаточно хорошо разбирались в вопросах обеспечения безопасной эксплуатации ГТС.

На основании наблюдений ежегодно по каждому гидроузлу выпускались итоговые отчеты, в которых с той или иной степенью полноты оценивалось состояние сооружений.

Помимо этого постоянного мониторинга с 1975 г. состояние ГТС электростанций начали обследовать централизованные комиссии, в состав которых входили ведущие специалисты проектных и научно-исследовательских организаций, а также различных надзорных органов.

Комиссии обследовали состояние ГТС с частотой один раз в пять лет. На основании обследований составлялись акты с оценкой состояния сооружений и с перечнем обязательных к выполнению мероприятий, направленных на повышение безопасности объектов. Выполнение этих мероприятий контролировалось различными надзорными органами, поэтому в значительной степени они реализовывались.

В 1997 г. вышел Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений», который обязал собственников гидротехнических сооружений или эксплуатирующие организации помимо выполняемых мероприятий для обеспечения безопасности сооружений также: «разрабатывать и своевременно уточнять критерии безопасности ГТС»; «развивать системы контроля за состоянием ГТС»; «систематически анализировать причины снижения безопасности ГТС и своевременно осуществлять разработку и реализацию мер по обеспечению исправного состояния гидротехнического сооружения и его безопасности» и, наконец, в качестве итогового документа, содержащего сведения о соответствии ГТС критериям безопасности, «собственник или эксплуатирующая организация обязаны составлять декларацию безопасности ГТС».

С начала реорганизации в гидроэнергетике и образования Управляющих компаний, а затем Бизнес-единиц, объединяющих разные энергетические объекты, организация контроля состояния сооружений и оборудования потребовала новых подходов.

Современное состояние этой проблемы определяется следующими основными факторами:

во-первых, уход в результате естественного старения наиболее квалифицированных специалистов, прошедших школу строительства и длительной эксплуатации сооружений;

во-вторых, у большинства электростанций, построенных в 60 – 80-х годах срок эксплуатации превышает 25 – 30 лет, т.е. сооружения стареют, на них наблюдаются деструктивные процессы изменения свойств материалов и, как следствие, ухудшение эксплуатационных свойств сооружений;

в-третьих, в современных условиях существенно ужесточились требования к условиям обеспечения безопасности энергетических объектов как объектов, авария которых может вызвать чрезвычайные катастрофические последствия;

наконец в-четвертых, создание Управляющих компаний повлекло за собой необходимость централизовать управление всеми энергетическими объектами. В том числе и в части контроля безопасности сооружений.

Первенство в попытке поиска новых подходов к организации контроля безопасного состояния подведомственных гидроэнергетических объектов по праву принадлежит Управляющей компании Волжского энергетического комплекса. В этот комплекс в настоящее время входят все основные гидростанции, эксплуати-

руемые на реках Волге и Каме: Рыбинская и Угличская ГЭС, Нижегородская, Саратовская, Жигулевская, Камская, Воткинская, Волжская ГЭС.

Для управления всем этим громадным хозяйством Компания приобрела мощный программный комплекс Maxima 5.2 «Система управления фондами и активами предприятия».

Однако этот комплекс не имеет аналитических блоков и не может напрямую контролировать состояние ГЭС гидростанций и его гидромеханического оборудования.

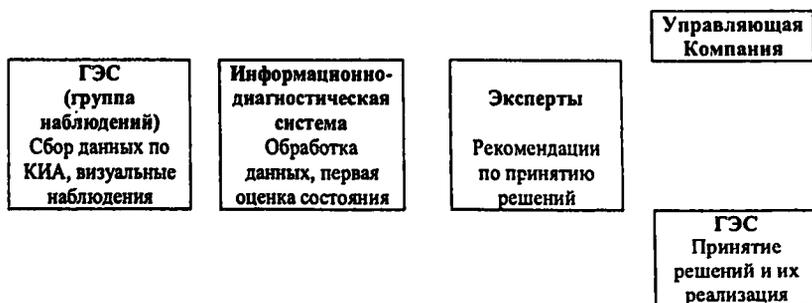
Для обеспечения постоянного контроля состояния сооружений на гидроузлах на каждом из них должна быть установлена специальная информационно-диагностическая система, которая бы собирала и хранила всю базу данных с показаниями приборов и результатами визуальных наблюдений, где был бы диагностический блок, который позволял бы сделать первую предварительную оценку состояния сооружений и оборудования. Гидротехнические сооружения настолько сложны и влияющие факторы настолько многообразны, что полностью формализовать оценку состояния сооружений и отдать функцию принятия решений компьютеру не представляется возможным, особенно при возникновении каких-либо неблагоприятных процессов. Таким образом, во всех случаях последнее слово в принятии решений, выработке того или иного воздействия должно быть сказано квалифицированными экспертами. Так как таких экспертов также становится все меньше и они, как правило, работают в ведущих НИИ, расположенных далеко от эксплуатируемых объектов, остается возможной следующая схема контроля.

Необходимо организовать передачу информации, получаемой в виде результатов инструментальных наблюдений по установленной КИА, и результатов визуальных наблюдений за сооружениями различных ГЭС в единый информационно-диагностический центр. Инструментальные и визуальные наблюдения, а также их передачу в центр должны осуществлять группы наблюдений на ГЭС. Наблюдатели должны отвечать каждый за свой объект или участок, должны уметь оценивать состояние приборов с точки зрения достоверности получаемых результатов.

Передача информации в центр должна выполняться по утвержденному графику сразу после выполнения замеров или визуальных осмотров.

В информационно-диагностическом центре полученная информация автоматически обрабатывается и выполняется ее первич-

ный анализ. При проявлении каких-либо отклонений информация передается экспертам для более глубокого анализа и выработки решения. Далее итоговая информация о состоянии сооружений передается главному инженеру ГЭС и в Управляющую компанию для информации или принятия и реализации решений (см. схему).



В настоящее время на большинстве ГЭС Каскада установлена и успешно эксплуатируется информационно-диагностическая система по контролю безопасности сооружений БИНГ, разработанная в ОАО «НИИЭС».

Эта система включает три основных блока:

блок баз данных показаний приборов за весь период эксплуатации, блок базы данных самих приборов, количество которых может превышать 3000 единиц, с паспортными и установочными данными, справочные чертежи с размещением КИА и системой поиска;

блок обработки информации и подготовки отчетов, включающий построение графиков, эпюр, топограмм и любую другую визуализацию результатов наблюдений, включая рисование дефектов и фотоальбом;

блок анализа и диагностики состояния. В этом блоке имеются критерии безопасности, показатели состояния, расчетные программы и любые другие средства, необходимые для автоматической диагностики или как материал для работы эксперта.

К сожалению хотя эти системы (БИНГ) и имеют общую структуру, при адаптации их на каждой из ГЭС возникали свои особенности, определяемые укоренившейся практикой работы конкретных исполнителей в гидроцехах. Поэтому для создания единой базы данных в новых условиях необходимо приведение к единому стандарту всех информационно-диагностических систем, установленных на гидростанциях.

Кроме того, возникли требования в организации контроля состояния не только гидротехнических сооружений, но и гидромеханического оборудования: затворов, закладных частей и других элементов. Для этого в настоящее время разработан в рамках информационно-диагностической системы блок контроля состояния ГМО, опытная эксплуатация которого осуществляется на Саратовской и Волжской ГЭС.

Новые требования к организации контроля состояния ГТС требуют не только объединения и централизации указанных систем, но и повышения надежности контроля и взятия ответственности за состояние сооружений специалистами, выполняющими анализ и определяющими необходимые воздействия.

В настоящее время повседневный контроль состояния сооружений ведется группами наблюдений, которые снимают показания приборов и ведут визуальные наблюдения. Однако анализ результатов наблюдений на разных станциях делается по разному в зависимости от квалификации специалистов и зачастую недостаточно полноценно.

Еще более проблематичная ситуация наблюдается с контролем состояния гидромеханического оборудования. Здесь собственных сил работников электростанции недостаточно и необходимо привлекать специалистов специализированных организаций.

Все это диктует необходимость создания единой для всех гидроузлов современной системы контроля и анализа, объединив в одном Центре усилия квалифицированных специалистов — гидромехаников, металлостроителей, технологов-ремонтников и т.д.

Эти специалисты, работающие в Центре, могут находиться постоянно как в одном, так и в разных местах, но при единственном условии — должна быть обеспечена постоянная электронная связь. Задачами этих специалистов будет проведение анализа состояния сооружений и конструкций на основании обследований, наблюдений по КИА, визуальных наблюдений, проводимых группами наблюдений, специальными Комиссиями и др.

#### **Выводы.**

Реорганизация РАО «ЕЭС России» вызвала необходимость новых подходов и к контролю безопасности гидротехнических сооружений и гидромеханического оборудования.

Предложенная централизация контроля является следствием не только организационной перестройки, но и фактического состояния дел: старением сооружений, уходом квалифицированных специалистов, сокращением численности эксплуатирующего персонала и т.д.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ

*Пушьев Н.Н., (Федеральная Служба по надзору в сфере транспорта)*

В настоящее время при оценке безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) применяются два основных подхода. Первый подход состоит в расчетах риска (вероятности) аварии гидротехнического сооружения, а второй подход представляет собой экспертный метод, основанный на результатах обследования ГТС. При втором подходе учитываются различные факторы, влияющие на безопасность, на основе их приведения к единому масштабу.

Расчеты риска аварии гидросооружения, по всей видимости, следует использовать при проектировании гидросооружений. Оценка безопасности эксплуатирующихся гидросооружений вероятностными методами вызывает сомнение, поскольку в этих методах не учитывается задача эксплуатации ГТС по недопущению аварии. При оценке уровня безопасности эксплуатирующихся ГТС целесообразно использовать экспертные методы. Эти методы основаны на использовании результатов натурных наблюдений и учитывают особенности эксплуатации ГТС. При этом наблюдаемым параметрам в соответствии с имеющейся шкалой присваиваются оценки. Такие же оценки присваиваются различным аспектам эксплуатации гидросооружения, и на основе имеющихся методик определяется итоговая оценка технического состояния и уровня безопасности ГТС.

В имеющихся методиках состояние гидросооружения разделяют на работоспособное и частично неработоспособное состояние. При этом частично неработоспособное состояние подразделяют на ограниченно работоспособное, предаварийное и аварийное состояние. Оценка технического состояния производится по шестибальной шкале. Выделенные состояния ГТС оцениваются следующими баллами:

- 0 – 3 — работоспособное состояние;
- 3 – 4 — ограниченно работоспособное состояние;
- 4 – 5 — предаварийное состояние;
- 5 – 6 — аварийное состояние;
- 6 — авария ГТС.

Эти состояния гидросооружения разделяются тремя границами: предельно допустимым значением (ПДЗ), ограниченно допустимым значением (ОДЗ) и критическим значением (КЗ), пере-

ход через которые показывает изменение состояния гидросооружения. ПДЗ соответствует граница с числовым значением, равным 3, и переход через нее означает, что гидросооружение из работоспособного состояния перешло в ограниченно работоспособное состояние. ОДЗ соответствует граница с числовым значением, равным 4, и переход через нее означает, что гидросооружение из ограниченно работоспособного состояния перешло в предаварийное состояние. КЗ соответствует граница с числовым значением, равным 5, и переход через нее означает, что гидросооружение из предаварийного состояния перешло в аварийное.

Прежде всего необходимо остановиться на том, что следует понимать под аварией гидросооружения. ГТС строится для выполнения им определенных функций. Причем гидросооружение может выполнять одну или несколько функций. Так, грунтовая дамба выполняет одну функцию — поддерживает уровень верхнего бьефа, а судоходный шлюз выполняет две функции — поддерживает уровень верхнего бьефа и обеспечивает судопропуск. Под аварией гидросооружения следует понимать неспособность выполнять одну или несколько своих функций постоянно или временно. Если на судоходном шлюзе произошли события, при которых шлюз может поддерживать уровень ВБ, но не может осуществлять судопропуск, то на данном гидротехническом сооружении произошла авария.

На гидросооружении возможны различные опасности, которые выражаются в возникновении различных видов аварий. При определении уровня безопасности ГТС следует рассматривать все опасности и соответственно все возможные аварии. Анализ развития возможных аварий показывает, что на пути гидросооружения от исправного состояния до аварии на нем происходит ряд событий. Поэтому под сценарием аварии следует понимать последовательность событий на гидросооружении, приводящих к невозможности гидросооружением выполнять одну или несколько своих функций постоянно или временно. Для судоходных гидротехнических сооружений временное невыполнение своих функций свыше 72 часов будет являться аварией.

Анализ возможных аварий на гидросооружении показывает, что возможны два вида аварий. Первый вид аварий представляет собой гидродинамическую аварию, выражающуюся в прорыве напорного фронта в результате движения воды из ВБ в НБ по непредусмотренному проектом пути. При этом гидросооружение перестает выполнять все свои функции постоянно или временно вплоть до восстановления.

Второй вид аварии приводит к невозможности гидросооружением временно (до завершения ремонтных работ) выполнять часть своих функций. При этом оставшуюся часть своих функций гидросооружение выполняет. Так, например, при этом виде аварии через судоходный шлюз не может осуществляться шлюзование, однако шлюз может поддерживать уровень верхнего бьефа.

Эти два вида аварий имеют различные последствия. Если первый вид аварии (гидродинамическая авария) приводит к прямым ущербам, выражающимся в затоплении территорий, разрушении зданий и сооружений, человеческих жертвах, то второй вид аварии приводит к косвенным (экономическим) ущербам, которые обусловлены невозможностью выполнять гидросооружением часть своих функций.

Оценку уровня безопасности следует определять для конкретной опасности. Конкретная опасность на гидросооружении формулируется сценарием аварии. Следовательно, оценка уровня безопасности определяется для каждого конкретного сценария аварии.

При оценке уровня безопасности гидросооружения, как правило, наиболее важным является технический аспект безопасности, т.е. техническое состояние ГТС. Поскольку оценки уровня безопасности ГТС определяются для возможных сценариев аварий, то и оценки технического состояния должны определяться для возможных сценариев аварий. Следовательно, гидросооружение должно иметь ряд оценок технического состояния по сценариям аварий. Эти оценки характеризуют техническое состояние гидросооружения для конкретных опасностей, которые описываются сценариями аварий.

Прежде всего следует определить: что характеризует оценка технического состояния ГТС? Конечной оценке технического состояния, равной 6, по принятой шкале соответствует авария ГТС. Авария ГТС проявляется в неспособности гидросооружения выполнять свои функции. Таким образом, оценка технического состояния является оценкой способности гидросооружения выполнять свои функции. Поэтому границы технических состояний (ПДЗ, ОДЗ, КЗ) должны характеризовать различную способность гидросооружения выполнять свои функции.

Изменение технического состояния гидротехнического сооружения возможно по ряду причин, таких как:

изменение действующих на ГТС нагрузок, в том числе с превышением проектных значений нагрузок основного и особого сочетания;

несоответствия гидросооружения действующим нагрузкам;

физический износ ГТС под влиянием деструктивных процессов или дефектов техногенного характера;  
выработки ресурса оборудования ГТС.

Поскольку оценка технического состояния характеризует способность гидросооружения выполнять свои функции, поэтому первоначально принципы назначения границ технического состояния приводятся в наиболее общей формулировке, т.е. в терминах, определяющих способность гидросооружения выполнять свои функции. При назначении границ технического состояния ГТС предлагается руководствоваться следующими общими принципами:

**ПДЗ** — на гидросооружении появились явные признаки, свидетельствующие о снижении способности ГТС выполнять свои функции;

**ОДЗ** — гидросооружение находится в состоянии, когда при наиболее неблагоприятном проектном режиме работы имеется явная угроза прекращения гидросооружением выполнения своих функций (явная угроза аварии), или гидросооружение работает в режимах, превышающих проектные;

**КЗ** — гидросооружение находится в состоянии, когда при нормальном режиме работы имеется явная угроза прекращения гидросооружением выполнения своих функций (явная угроза аварии), или гидросооружение работает в режимах, превышающих проектные, и при этом имеется явная угроза прекращения гидросооружением выполнения своих функций (явная угроза аварии).

Приведенные общие принципы назначения границ технического состояния ГТС позволяют достаточно четко определить состояние гидросооружения:

граница ПДЗ характеризуется тем, что гидросооружение явно снижает способность выполнять свои функции;

граница ОДЗ характеризуется тем, что при наиболее неблагоприятном проектном режиме работы имеется явная угроза аварии сооружения, т.е. до этой границы гидротехническое сооружение может работать в любых проектных режимах с допустимым риском аварии, а перейдя ее сооружение находится в состоянии, когда имеются проектные режимы, при которых весьма высока вероятность аварии, то есть риск аварии высок и недопустим;

граница КЗ характеризуется тем, что при нормальном проектном режиме работы имеется явная угроза аварии гидротехнического сооружения, т.е. в этом состоянии сооружения, как правило, требуется уменьшение напора на него или ограничение сбросного расхода или другие ограничения по режимам работы ГТС.

На основе общих формулировок границ технического состояния можно сформулировать частные принципы назначения границ технического состояния.

***Предельно допустимое значение***

действующие нагрузки равны нагрузкам основного сочетания; систематически повторяемые разрушения или дефекты одного и того же элемента гидросооружения свидетельствуют о несоответствии прочности элемента фактическим нагрузкам;

на элементах гидросооружения появились дефекты, которые явно свидетельствуют об идущих деструктивных процессах;

контролируемые параметры находятся на границе ожидаемого диапазона, определяемого прогнозными моделями на основе натурных наблюдений;

для контролируемых параметров появились тенденции, явно свидетельствующие об идущих деструктивных процессах.

***Ограниченно допустимое значение***

действующие нагрузки равны нагрузкам особого сочетания; систематически повторяемые разрушения или дефекты одного и того же элемента гидросооружения свидетельствуют об явной угрозе аварии при действии нагрузок, превышающих нагрузки основного сочетания;

на гидросооружении появились такие дефекты и разрушения, что при действии нагрузок особого сочетания ( $\Phi П У$ ,  $Q_{пов}$ ) имеется явная угроза аварии.

***Критическое значение***

действующие нагрузки превысили нагрузки особого сочетания, и при этом имеется явная угроза аварии;

систематически повторяемые разрушения или дефекты одного и того же элемента гидросооружения свидетельствуют об явной угрозе аварии при действии нагрузок, не превышающих нагрузки основного сочетания;

на гидросооружении появились такие дефекты и разрушения, что при действии нагрузок основного сочетания ( $\Phi П У$ ,  $Q_{рас}$ ) имеется явная угроза аварии.

Приведенные выше принципы назначения границ технического состояния относятся к оценке технического состояния гидросооружения по сценарию аварии. Однако контроль технического состояния осуществляется по контролируемым параметрам, за которыми ведутся натурные наблюдения. Этих контролируемых параметров, как правило, несколько. Соответственно для каждого контролируемого параметра должны иметься границы перехода

из одного состояния в другое. Принципы назначения границ для контролируемых параметров должны быть такими же, как для сценариев аварий. В этом случае переход контролируемого параметра через границу будет означать переход гидросооружения из одного состояния в другое по сценарию аварии. Таким образом, единство принципов назначения границ технического состояния по сценарию аварии и по контролируемым параметрам позволит однозначно определять техническое состояние гидросооружения.

Оценка технического состояния производится для сценария аварии. Сценарий аварии представляет собой последовательность событий или процессов на гидросооружении, приводящих к аварии. Каждое событие или процесс в сценарии аварии контролируется рядом параметров. Это хорошо известные нам контролируемые параметры, за которыми ведутся наблюдения на гидросооружении. При назначении границ технического состояния прежде всего следует определить, какие процессы соответствуют каким техническим состояниям. Для примера возьмем следующий сценарий аварии — *повышение уровня воды в теле грунтовой плотины вследствие кольматации обратных фильтров, недостаточная устойчивость низового откоса плотины, оползание низового откоса, разрушение гребня плотины, перелив и размыв тела плотины, прорыв напорного фронта*. В этом примере процесс повышения уровня воды в теле плотины будет соответствовать ограниченно работоспособному состоянию. Процесс, сформулированный как недостаточная устойчивость низового откоса, выражающийся в появлении продольных трещин откола или деформациях откоса, будет соответствовать предаварийному состоянию гидросооружения. А процессы, начинающиеся с оползания низового откоса, будут относиться к аварийному состоянию гидросооружения. Как видим, в данном случае каждому техническому состоянию соответствуют свои процессы.

Соответственно, каждое техническое состояние (ограниченно работоспособное, предаварийное, аварийное) в данном сценарии аварии оценивается своими контролируемыми параметрами. Оценку технического состояния необходимо давать по контролируемым параметрам текущего события. При этом контролируемые параметры других событий становятся незначимыми для оценки технического состояния. Однако это не означает, что следует прекращать наблюдения за этими контролируемыми параметрами. Эти наблюдения будут необходимы для выявления причин изменения технического состояния и разработки мер по их устранению.

В приведенном примере контролируемые параметры будут иметь значение только для одной границы технического состояния. В других сценариях аварий контролируемые параметры могут иметь две или три границы технических состояний в зависимости от того, сколько технических состояний включает в себя событие, происходящее с сооружением.

В заключение следует отметить, что при оценке технического состояния для каждого сценария аварии следует определить, какие процессы соответствуют каким техническим состояниям ГТС. На основе проведенного анализа следует определить, какие границы технических состояний могут иметь контролируемые параметры, и для каждого контролируемого параметра, исходя из приведенных выше принципов назначения границ технических состояний, следует назначить граничные значения.

Численная оценка технического состояния дается на основе сопоставления фактического состояния гидротехнического сооружения, определяемого натурными наблюдениями, с границами технических состояний ГТС. При этом проставляются оценки технического состояния, как правило, с точностью до одной десятой балла. Оценки технического состояния определяются для каждого сценария аварии. Итоговая оценка технического состояния гидросооружения определяется по наихудшей оценке среди возможных сценариев аварий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **О безопасности гидротехнических сооружений.** Федеральный закон №117 от 21 июля 1997 года.
2. **СНиП 2.06.01-86.** Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1987.
3. **Малаханов В.В.** Классификация состояний и критерии эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений. //Гидротехническое строительство. 2000. №11.
4. **Золотов Л.А., Ивашенко И.Н., Радкевич Д.Б.** Оперативная количественная оценка уровня безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений. //Гидротехническое строительство. №2. 1997.
5. **Пупышев Н.Н.** Оценка уровня безопасности эксплуатирующихся судоходных гидротехнических сооружений (СГТС). ИС, ФГУП ЦБНТИ Минтранса РФ. //Наука и техника на речном транспорте. №12. 2001.

## **СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОЛЗНЕВЫХ МАССИВОВ**

*Черненко В.Н., инженер (Загорская ГАЭС), Машков С.Л.,  
Кузнецов В.В., Саватеев М.В., инженеры, (ЗАО «ПромЭлектроСбыт»)*

Измерение целого ряда параметров (уровня воды, величины смещения, осадков, расхода воды и т. д.), по которым оценивается состояние гидротехнических сооружений, осуществляется, как правило, традиционными способами и средствами, которые использовались и десятилетия назад. К ним относятся:

для измерения уровней воды — хлопущки, уровнемеры;

для определения смещений на оползневых склонах — координатомеры на обратных отвесах;

для измерения расходов воды — гидрометрические вертушки, водосливы.

У всех этих измерительных устройств, которые в целом обеспечивают достаточную точность, есть существенный изъян — большой объем трудозатрат при выполнении наблюдений с большим количеством контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Так, например, на правобережном склоне напорных трубопроводов Загорской ГАЭС установлено 15 обратных отвесов и 75 дренажных скважин. Измерения по этим устройствам, в соответствии с Программой натурных наблюдений, выполняются два раза в месяц.

Такая частота наблюдений не позволяет отслеживать динамические процессы в массивах горных пород, обусловленные постоянно меняющимся горизонтом воды в бассейнах гидроузла.

Решение задачи по созданию измерительных устройств, позволяющих с высокой точностью, в автоматическом режиме, с практически неограниченным диапазоном частоты снимать показания и передавать информацию в виде радиосигналов на компьютер, существенно расширяет возможности контроля за состоянием сооружения.

Эта задача в части измерения смещений грунтовых массивов и изменений уровней подземных вод была решена ЗАО «ПромЭлектроСбыт», который разработал и поставил в опытную эксплуатацию на Загорской ГАЭС автоматизированный радиокоординатомер (АРК-01) и автоматизированный радиоуровнемер (АРУ-01).

АРК-01 предназначен для автоматического бесконтактного определения положения струны обратного отвеса (сдвигомера горизонтальных перемещений) и позволяет осуществлять постоянный

контроль за величиной и направлением подвижек массива грунта. Передача информации о положении струны в двух взаимно перпендикулярных осях производится по радиоканалу на пункт централизованного наблюдения.

*Координатомер обеспечивает:*

автоматическое определение положения струны обратного отвеса в двух взаимно перпендикулярных направлениях бесконтактным способом;

автоматическую передачу информации о положении струны по радиоканалу на пункт централизованного наблюдения на время проведения измерения.

*В состав АРК-01 входят:*

датчик определения положения струны;

радиоэлектронный блок;

антенно-фидерное устройство.

Кроме того, в состав АРК-01 входят также пункт централизованного наблюдения (1 шт.) и ретранслятор, необходимость и количество которого определяется заказчиком совместно с поставщиком в зависимости от требуемой дальности и рельефа местности.

Координатомер рассчитан для непрерывной круглосуточной работы.

Координатомер, за исключением антенны, эксплуатируется в кожухе обратного отвеса, защищающим его от прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков.

Конструктивно автоматизированный радиокоординатомер АРК-01 состоит из датчика с основанием, крепящимся на оголовке трубы обратного отвеса, и радиоэлектронного блока, прикрепленного к кожуху.

Пункт централизованного наблюдения содержит устройство приема и накопления информации и персональный компьютер, работающий в операционной системе не ниже WINDOWS 98. Программа приема и обработки принимаемой информации не мешает работе других программ (не требуется выделение специального компьютера). Информация о положении струны может выводиться как на экран монитора, так и на печать в табличном и графическом видах. Информация содержит результаты измерения положения струны, время и дату. Программа приема и обработки сигнала позволяет получать все данные:

за весь период наблюдений;

за определенный (выбранный) период;

на определенное время за весь период наблюдения;

на определенное время за определенный период наблюдения.

*Технические параметры автоматизированного радиокоординатомера АРК-01:*

диапазон определения положения струны без изменения положения датчика — окружность диаметром 20 мм;

диапазон определения положения струны при изменении положения датчика — окружность диаметром 100 мм;

среднеквадратическая погрешность определения положения струны не более 0,05 мм;

время непрерывной работы с одним автономным комплектом источника питания не менее 1 года;

дальность передачи информации по радиоканалу без ретранслятора до 1 км;

дальность передачи информации по радиоканалу с использованием одного ретранслятора до 4 км;

периодичность получения информации — не реже 1 раза в час;

вероятность правильного приема информации — не менее 0,95.

АРК-01 использует оптический метод измерения положения струны и основан на применении ПЗС линеек (линейных фоточувствительных приборов с переносом заряда). Такие линейки широко применяются в сканерах, факсах, устройствах считывания штрих-кодов, спектроскопии и т.д. ПЗС линейки состоят из большого числа (до нескольких тысяч) отдельных светочувствительных ячеек, расположенных с шагом в несколько микрон. В разработанной конструкции координатомера применены ПЗС линейки фирмы «TOSHIBA», имеющие следующие параметры [1]:

число ячеек — 2048;

размер ячейки 14 x 200 мкм;

общая длина светочувствительной области — 28,7 мм.

Измерения координат струны обратного отвеса в АРК-01 сводится к определению положения тени струны при облучении ее точечным источником света. Измерение производится последовательно в двух взаимно перпендикулярных направлениях. На рис. 1 приведена схема определения положения струны.

В качестве источника света применены светодиоды. Характеристики светодиода — длина волны, яркость, диаграмма направленности — определяются выбранной ПЗС линейкой.

На рис. 2 приведен пример калибровки датчика, получаемый на экране персонального компьютера. На оси абсцисс нанесены номера ячеек ПЗС линейки (цена деления — 28 мкм), на оси ординат — напряжение, пропорциональное освещенности (цена деления — 4,88 мВ).

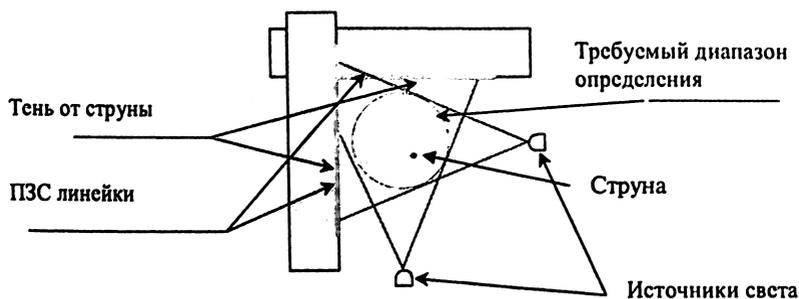


Рис. 1. Схема определения положения струны

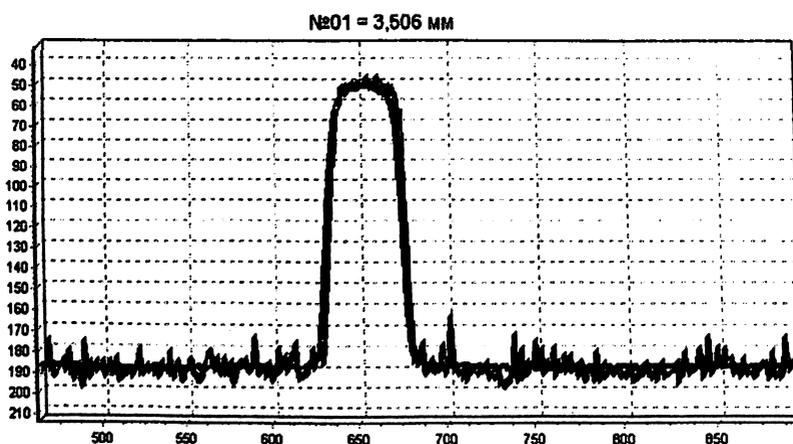


Рис. 2. Изображение тени струны на экране персонального компьютера. По оси абсцисс нанесены номера ячеек ПЗС линейки, по оси ординат — напряжение, пропорциональное освещенности

Управление процессом измерения осуществляется микроконтроллером по следующему алгоритму:

передается команда чтения данных оптического датчика с заданной экспозицией;

полученные данные проходят через НЧ фильтр;

находится амплитуда сигнала, как разность наибольшего и наименьшего значений;

на заданном уровне от амплитуды определяется зона сигнала; определяется центр (по середине отсекаемой площади);

вычисляются координаты расположения струны, которые поступают далее на контроллер датчика для последующей передачи.

НЧ фильтр выполняет сглаживание сигнала по следующей формуле:

$$Y_n = (0,5 * X_{n-2} + X_{n-1} + X_n + X_{n+1} + 0,5 * X_{n+2}) / 4, \quad (1)$$

где  $X_n$  — отсчеты сигнала, снимаемые с ячеек оптического датчика, пропорциональные освещенности;  $Y_n$  — отсчеты сигнала после сглаживания, пропорциональные освещенности.

Нахождение центра площади тени по каждой оси производится в следующей последовательности [2]. Аппроксимируя огибающую сигнала отрезками прямой, получаем непрерывную функцию  $X(n)$ , где  $n$  — номер ячейки датчика (рис. 3). Для удобства изложения смещаем график к началу координат. Площадь фигуры, образованной графиком  $X(n)$  и уровнем среза, находится как сумма площадей двух треугольников по краям и трапециями посередине:

$$S = 1/2 * X_1 * X_1 / (X_1 - X_0) + (X_1 + X_2) / 2 + \dots + (X_{N-1} + X_N) / 2 + 1/2 * X_N * X_N / (X_N - X_{N+1}) = 1/2 * X_1 * (X_1 / (X_1 - X_0) + 1) + X_2 + \dots + X_{N-1} + 1/2 * X_N * (X_N / (X_N - X_{N+1}) + 1) \quad (2)$$

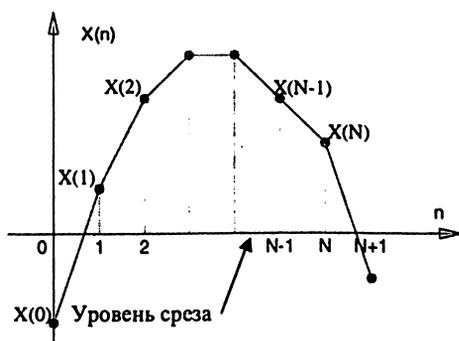


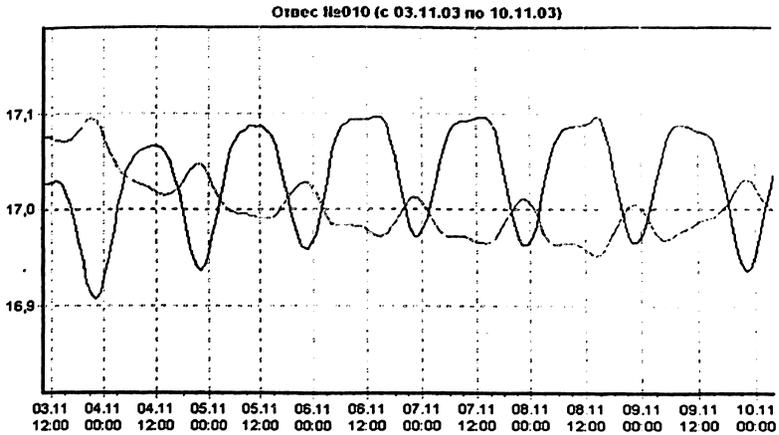
Рис. 3. Вычисление центра тени

После нахождения положения центра тени струны находится уравнение прямой, проходящей через источник света и центр тени (для каждой оси). Положение струны находится как точка пересечения двух проходящих через них прямых.

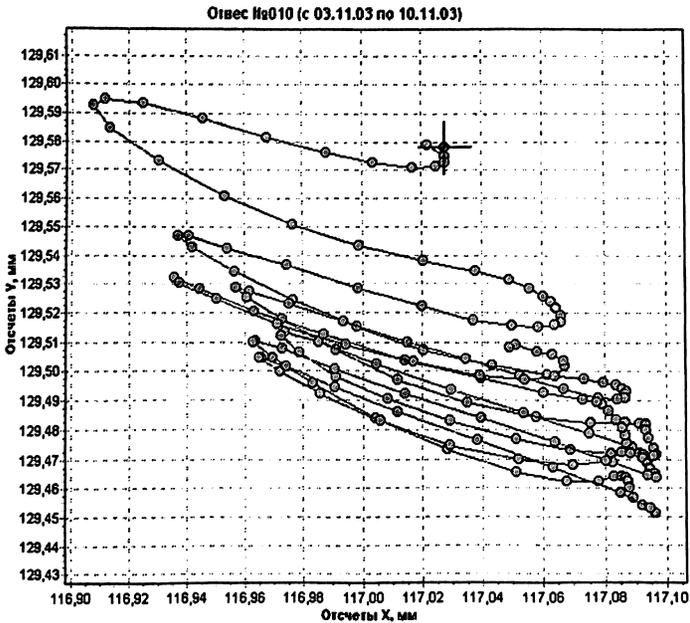
Разрешающая способность датчика прямо пропорциональна разрешающей способности ПЗС линейки, точности АЦП и диаметру струны отвеса. По результатам проведения испытаний экспериментально установлено, что погрешность определения положения струны не превышает (10 – 20) мкм.

Изображение полученной информации в графическом виде в координатах время — смещение, где по оси абсцисс отложены даты проведения измерений, по оси ординат — результаты измерений ось X (1), ось Y (2), представлено на рис. 4.

Изображение перемещений отвеса в плоскости (ось абсцисс перемещение по оси X, ось ординат — перемещение по Y) приведено на рис. 5.



**Рис. 4.** Вид рабочего окна при выводе информации в графическом виде в координатах время - смещение. По оси абсцисс отложены даты проведения измерений, по оси ординат — результаты измерений (1 — смещение по оси X, 2 — смещение по оси Y)



**Рис. 5.** Вид рабочего окна при выводе приведенной выше информации в координатах X и Y. По оси абсцисс — перемещение по X, по оси ординат — перемещение по Y

Применение автоматизированного радиокоординатомера позволяет исключить субъективные факторы, повысить оперативность доведения информации, снизить эксплуатационные затраты и повысить безопасность эксплуатации.

В 2002 г. на Загорской ГАЭС успешно проведены эксплуатационные испытания *автоматизированных датчиков уровня воды* в пьезометрах (АРУ-01). В 2003 г. АРУ-01 поставлены на эксплуатацию. АРУ-01 состоит из:

- погружного датчика;
- радиоэлектронного блока;
- антенно-фидерного устройства.

Передача информации производится аналогично АРК-01 по радио и позволяет получать все сведения также, как и для координатомера. Общее число контролируемых датчиков уровня воды может достигать 300 шт. При необходимости количество датчиков может быть увеличено.

*Датчик уровня воды имеет следующие технические параметры:*

- диапазон определения уровня воды от 0 до 10 м;
- погрешность определения уровня 0,25%;
- глубина погружения в скважину — до 100 м;
- время непрерывной работы с одним комплектом источника питания — не менее 1 года.

Автоматизированный датчик уровня воды расположен в прочном металлическом корпусе, предохраняющем его от фактов вандализма. Антенна датчика уровня также выполнена в антивандальном исполнении. Датчик уровня воды имеет охранные устройства, предназначенные для организации собственной охраны. Устройства охраны вырабатывают сигнал при механических воздействиях, способных разрушить датчик (ударах, попытках демонтажа). Эти тревожные сигналы по радио передаются на пункт централизованного наблюдения для принятия необходимых мер.

Опытная эксплуатация данных измерительных устройств на Загорской ГАЭС показала их высокую надежность, большие возможности для исследования динамических процессов и как следствие обеспечение оперативного контроля за состоянием сооружений. АРК-01 и АРУ сертифицированы (сертификат № 0315762 от 25.11.03 г.) и могут быть рекомендованы для широкого использования в целом ряде отраслей народного хозяйства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **TOSHIBA** Toshiba CCD linear image sensor TCD1205D. 1997.
2. **С. Холзнер**. Microsoft Visual C<sup>++</sup>5. Санкт-Петербург: «Питер». 1998.

## К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛДС

*Николаев А.П., инженер, Власов В.М., кандидат техн. наук  
(ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)*

В связи с выходом Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» актуальным остается задача по оценке состояния бетонных элементов конструкций гидротехнических сооружений на основе тензометрических измерений. Существующая методика оценки напряженного состояния бетонных элементов по результатам измерений закладной телеметрической контрольно-измерительной аппаратуры вызывает определенные сомнения в достоверности получаемых результатов.

Прежде всего необходимо отметить конструктивные особенности датчиков ПЛДС-400, используемых в отечественной гидротехнике на протяжении последних 30 лет, и их отличия от предыдущих образцов:

корпус прибора является телескопическим, то есть прибор обладает нулевой жесткостью, тем самым обеспечивается высокая чувствительность датчика при деформациях бетона. Это обстоятельство является наиболее важным отличием от предыдущих датчиков, которые являлись или жесткими, или мягкими (конструкция ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», французской фирмы «Телемак»). Преимущества датчиков с нулевой жесткостью были убедительно, теоретически и практически, доказаны еще в 1967 г.

измерение частоты (периода) струны прибора производится не на базе прибора, а на его отрезке, который изменяется за счет телескопического корпуса в зависимости от температурных расширений струны. Таким образом, компенсируются собственные деформации прибора от действия температуры. Как записано в технических требованиях (ПЛДС-400) [1], изменение собственной частоты прибора при изменении температуры от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  не должно превышать удвоенного значения допускаемой суммарной относительной погрешности. В результате данного конструктивного решения прибор обладает как бы нулевым коэффициентом линейного расширения в отличие от предыдущих приборов, в измерения которых включалась погрешность, обусловленная различием коэффициентов линейного расширения тензометра и бетона;

для уменьшения влияния заполнителя в бетоне на измерения относительных деформаций была подобрана база прибора, равная 400 мм в отличие от базы 200 мм конструкции ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». Кроме этого, анкера приборов выполнены в фигурной форме для лучшего сопряжения с бетоном.

Учитывая эти конструктивные особенности, рассмотрим типовой график изменения относительных деформаций в бетоне по показаниям преобразователя линейных деформаций (ПЛДС-400) и изменения при этом температуры после укладки бетонной смеси (рис. 1). Далее в статье под деформациями будут пониматься деформации, измеренные на базе прибора (относительные деформации).

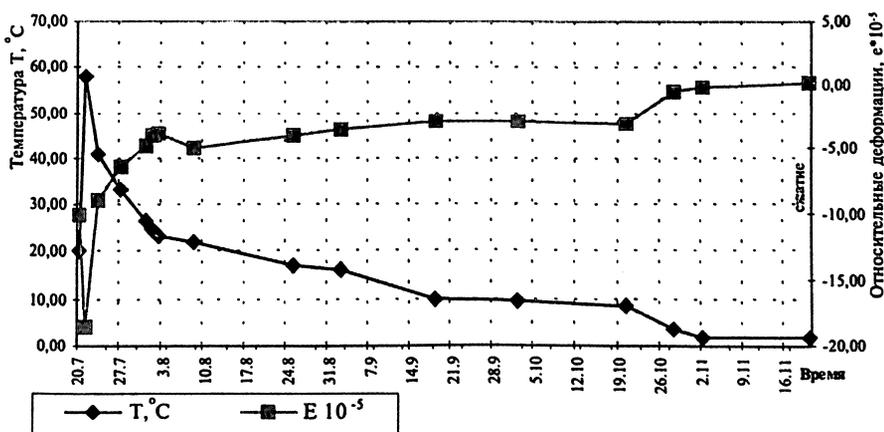


Рис. 1. Показания приборов, регистрирующие относительные деформации и температуру в бетоне при бетонировании

При повышении температуры наблюдаются сжимающие деформации, а при понижении температуры — растягивающие. Физическая сторона вопроса заключается в следующем. При схватывании бетона и интенсивной экзотермии по прибору регистрируются деформации сжатия до достижения максимальной температуры. Этот процесс составляет от двух до пяти дней в зависимости от состава бетона и внешних факторов. Величина сжимающих деформаций составляет от  $(2 \text{ до } 10) \cdot 10^{-5}$  единиц. Далее при твердении бетона и понижении температуры деформации переходят в растягивающие, при этом их величина с момента перехода до набора необходимой прочности бетона (28 дней) может достигать  $20 \cdot 10^{-5}$  единиц. Процесс схватывания сопровождается деформированием бетона и микротрещинообразованием. В последующие месяцы идет постепенный

рост растягивающих деформаций, а интенсивность их изменения соответствует интенсивности изменения температуры бетона.

Анализ изменения измеряемых деформаций свидетельствует о неупругой схеме деформирования бетона при изменении температуры. Изменения деформаций соответствуют работе прибора в массиве с трещинами. При нагревании бетон расширяется и микротрещины закрываются, а при охлаждении прибор фиксирует деформации растяжения. Этот процесс изменений деформаций вполне закономерен, если учесть, что корпус прибора изолирован от бетона и находится в полиэтиленовой оболочке; т.е. в бетоне на базе прибора образуется пустое пространство и анkers прибора измеряют деформации стенок этого пустого пространства. Прибор работает в пустом пространстве («полости»), в котором имеется лишь небольшое сопротивление (большее или меньшее в зависимости от конструкции) воздействию бетона на «полость», образованную прибором. При твердении бетона именно это место является ослабленным, где происходит трещинообразование бетона и разгрузка технологических напряжений. Подобный процесс наблюдается по каждому прибору независимо от его расположения: вертикального, горизонтального, или от его местонахождения в теле блока, или в ненапряженном образце. На рис. 2 представлен типичный график изменений измеренных деформаций в бетоне после двух лет установки прибора. Наблюдается тот же противофазный процесс.

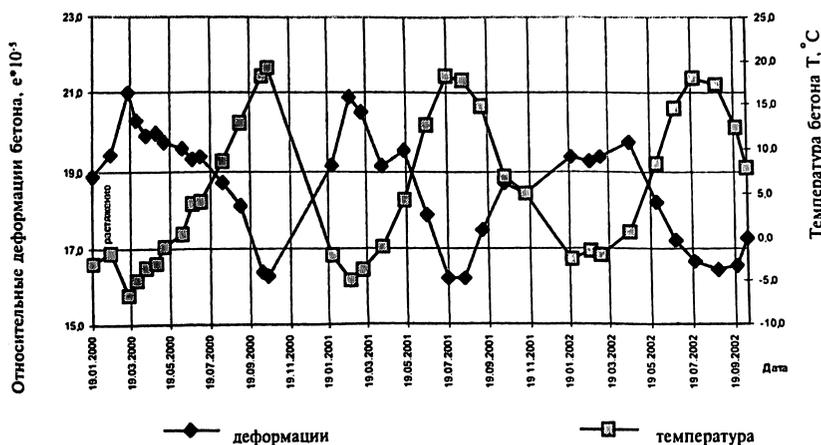


Рис. 2. Изменения относительных деформаций и температуры бетона

Необходимо отметить, что абсолютно идентичный процесс изменений деформаций наблюдается и по старым датчикам конструкции ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», поскольку там на базе прибора также образуются микротрещины. Их образование обусловлено появлением зазора между корпусом прибора и бетоном из-за постоянно изменяющейся жесткости бетона при твердении и постоянной жесткости корпуса прибора. Различие коэффициентов линейного расширения между прибором и бетоном вносит в измерения только погрешность, не изменяя общий характер изменений деформаций. Для корректной оценки силовых и температурных деформаций по показаниям прибора, чтобы учесть наличие «полости» в месте установки прибора, необходимо произвести тарировку прибора в массивном бетонном образце с измерением деформаций образца по показаниям тензодатчиков.

$$E_{\text{н}} = E_{\text{с}} * \xi_{\text{с}} + E_{\text{т}} * \xi_{\text{т}},$$

где  $E_{\text{н}}$ ,  $E_{\text{с}}$  и  $E_{\text{т}}$  — соответственно измеренные, силовые и температурные деформации;  $\xi_{\text{с}}$  и  $\xi_{\text{т}}$  — соответственно тарировочные коэффициенты при силовом и температурном воздействии.

О трещинообразовании можно судить по величине измеряемых деформаций. Предельные, упругие растягивающие относительные деформации бетона не могут превышать  $8,5 \cdot 10^{-5}$  единиц (СНиП 2.06.08-87. Приложение 2) [2]. Деформации, превышающие эту величину, свидетельствуют о раскрытии микротрещин.

Трещинообразование на базе прибора приводит к критическому отношению к методике вычислений напряженной деформации бетона [3]:

методика была разработана в 1975 г. и была предназначена для приборов конструкции ВНИИГ с базой 200 мм;

в методике не учитывалась жесткость прибора;

в измерения деформаций включалась деформация, вызванная различием теплового расширения бетона и тензометра, тогда как в современных приборах (ПЛДС-400) коэффициент линейного расширения можно считать равным «0»;

считалось, что прибор работает в упругой, трещиностойкой среде, тогда как на базе прибора образуются микротрещины;

температурные деформации не считались напряженными деформациями (из измеренных деформаций отнимались так называемые «ненапряженные» деформации, в которые входили температурные составляющие деформаций), тогда как коэффициент корреляции между измеренными деформациями и температурой за три года наблюдений составляет более 90 ед. (рис.3).

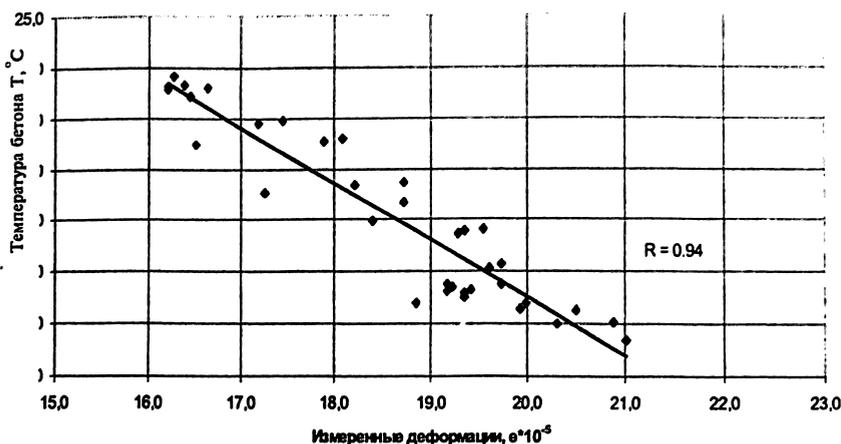


Рис. 3. Связь между температурой и деформациями в бетоне

Кроме этого, в «Пособии ...» [3] на стр. 20 в формуле (II-3) допущена ошибка в соотношении между действительными и измеренными деформациями. Измеренные деформации являются интегральной величиной и зависят как от внутренних факторов прибора, а именно: конструктивных особенностей, жесткости прибора, его коэффициента линейного расширения, так и от внешних факторов: температурных деформаций бетона, силовых воздействий. Поэтому формулу (II-3) в «Пособии ...» [3] необходимо записать в виде:

$$E_n = E_d + \alpha_T \cdot \Delta T,$$

где  $E_n$  и  $E_d$  — соответственно измеренная и действительная деформации;  $\Delta T$  — градиент температуры;  $\alpha_T$  — коэффициент линейного расширения тензметра.

После этого каждый член этой зависимости брать со своим знаком: сжимающие деформации и понижение температуры со знаком « - », а растягивающие деформации и нагревание со знаком « + ».

Возникает весьма спорное использование «ненапряженных» образцов («конусов») при расчете напряжений в бетоне, поскольку теория «ненапряженных» образцов основана на том, что бетон считается упругим и условно трещиностойким материалом (по крайней мере на базе прибора)[3]. «Ненапряженный» образец теряет свой смысл в результате того, что разгрузочная область (ненапряженная) находится на базе прибора. Измеренные деформации в «ненапряженных» образцах («конусах») также отражают работу приборов в полости, но уже в относительно небольшом образце.

По существующей методике напряженные деформации определяются путем исключения из деформаций, измеренных в определенной точке конструкции, деформаций в «конусе». При этом предполагается, что какая-то часть измеренных деформаций должна соответствовать деформациям, измеренным в «конусе». На самом деле деформации в «конусе» как в теоретическом плане, так и на практике не соответствуют деформациям в измеряемой точке ни во время твердения бетона, ни, тем более, во время эксплуатации. В «конусе» может быть и различная степень уплотнения бетона, количество и влияние заполнителя и степень развития микротрещин и т.д. и т.п., что легко доказать статистическим анализом результатов наблюдений. Кроме этого, с увеличением срока службы возрастает разница в напряженном поле бетона вокруг приборов, установленных в «конусе» и в измерительной точке, что увеличивает ошибку в получении результата при вычитании так называемых «ненапряженных» деформаций в «конусе». Поэтому работа приборов в «конусах» отличается от работы приборов в массиве и их показания нельзя использовать даже при наличии тарировки. Необходимо добавить еще одно обстоятельство: из измеренных деформаций исключаются температурные деформации, предполагая, что они одинаковые, что также не соответствует действительности и еще больше увеличивает ошибку в получении конечного результата.

По формуле (II - 11) «Пособия....» [3] ненапряженная деформация в «конусе» определяется выражением:

$$E_{\text{нн}}(t) = E_0(t) + E_{\text{пс}}(t)$$

где  $E_{\text{нн}}$  — ненапряженная деформация;  $E_0$  — свободная деформация бетона, вызванная изменением его температуры и влажности, а также самопроизвольным изменением объема в процессе гидратации;  $E_{\text{пс}}$  — «постоянная» деформация, вызванная главным образом различием теплового расширения бетона и тензметра, а также реактивным действием корпуса тензметра.

Поскольку в настоящее время используются ПЛДС-400, которые обладают нулевой жесткостью и нулевым коэффициентом линейного расширения, то член  $E_{\text{пс}}$  исключается, а член  $E_0$  можно учитывать непосредственно по прибору, установленному в конструкции после набора бетоном необходимой прочности.

Все это свидетельствует о нецелесообразном использовании «конусов». Мало того, что деформации в «конусе» искажают измеренные деформации и привносят ошибки и погрешности, но, самое главное, они исключают температурные деформации, которые составляют около 90% от общих деформаций в бетоне.

При вычислении деформаций необходимо учесть, что знаки силового воздействия и деформаций в приборе совпадают, а знаки температурного воздействия и деформаций в приборе противоположны. Получение деформаций, возникающих в бетоне во время набора прочности и в процессе эксплуатации от различных воздействий и нагрузок, можно определить, используя приращенные деформаций за необходимый период. А необратимые составляющие деформаций при образовании микротрещин рассчитать известными статистическими методами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ост 3472. 965-96 Преобразователи измерительные струнные для объектов энергетики. Общие технические требования.
2. СНиП 2.06.08-87. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Приложение 2. Минэнерго СССР. М.:ЦИТП Госстроя СССР. 1987.
3. Пособие по методике обработки данных натуральных наблюдений бетонных гидросооружений. Под редакцией С.Я.Эйдельмана. «Энергия». Ленинградское отделение. 1975.

### **О ДОПОЛНЕНИИ СОСТАВА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ ПЛОТИН С УЧЕТОМ АНОМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РАСШИРЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МАССИВНОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПЛОТИНЫ БОГУЧАНСКОГО ГИДРОУЗЛА)**

*Крутов Д.А., Лавров Б.А., инженеры (ОАО «НИИЭС»)*

Бетон в сооружениях гидроузлов, расположенных в северных районах, находится под воздействием отрицательных температур. Установлено существенное отличие свойств замороженного бетона от бетона, работающего при положительных температурах. Предполагалось, что может быть получен новый строительный материал в виде замороженного бетона, который будет обладать более высокими деформативными и прочностными характеристиками в сравнении с незамороженным.

Исследования, проведенные [9 – 12, 17], описали характер деформаций бетона, испытывавшего аномальные температурные деформации расширения при низких отрицательных температурах.

Аномальные деформации расширения объясняются [17] замерзанием свободной воды в середине капилляров и отсутствием свободных пор, что сокращает возможность перемещений жидкости и при

увеличении объема льда (в виде плавающих стержней) приводит к повышению давления в порах. Давление в порах вызывает растягивающие напряжения, при которых бетон начинает расширяться. Непосредственное давление льда на стенки капилляров (или через молекулярный слой жидкости) сопровождается разрушающими деструктивными процессами, а при очень низких отрицательных температурах увеличение объема льда незначительно: бетон представляет собой сплошное твердое тело и испытывает деформации сжатия.

Установлено [12], что деструктивный (разрушающий) процесс, связанный с явлениями температурных деформаций расширения, проявляется в образовании и накоплении микро- и макротрещин и сказывается на уменьшении первоначальной величины модуля упругости бетона. Конструктивный (упрочняющий) процесс, связанный с явлениями смерзания внутренних поверхностей пор, проявляется в образовании льдом в бетоне «каркаса», воспринимающего часть внешней нагрузки.

Экспериментальные исследования, объясняющие физические процессы, происходящие в бетоне при замораживании, позволили установить условия, существенно влияющие на свойства бетона при действии отрицательных температур. Однако результаты этих исследований не могут отразить изменений, происходящих в массивном гидротехническом бетоне при отрицательной температуре [4, 18] (особенно при продолжительном ее действии), так как:

размеры испытывавшихся образцов малы;

большая интенсивность замораживания не имеет места в бетонных сооружениях.

В суровых климатических условиях Сибири с температурами, достигающими  $-5^{\circ}\text{C}$  в зимний период, возведены гидроузлы: Братский, Красноярский, Мамаканский, Усть-Илимский, Усть-Каменогорский, Бухтарминский, Саяно-Шушенский и другие. Результаты обобщения и анализа материалов натуральных наблюдений за деформативностью замороженного бетона нашли отражение в основном в работах С.Я. Эйдельмана и В.Н. Дурчевой. Так, следуя [18], кристаллизация воды в замороженном бетоне устраняет дефекты его структуры, увеличивая ее однородность. Следствием этого является увеличение прочности бетона при сжатии и растяжении в 1,5 – 2 раза и его предельной растяжимости до 2 – 3 раз.

Сопоставление результатов испытаний, полученных в лаборатории, с данными натуральных исследований показало их несоответствие. Ранее натурными наблюдениями не фиксировались аномальные расширения бетона, связанные с действием отрицательных тем-

ператур. Длительное воздействие отрицательных температур (например, в виде 10 – 15-летнего ряда наблюдений, накопившихся в результате натурных исследований на бетонной плотине Богучанского гидроузла и развитие в бетоне деструктивных процессов не изучены.

Например, бетонная гравитационная плотина Богучанского гидроузла возводится с 1982 года в местности с суровым резко континентальным климатом со среднегодовой температурой воздуха  $-3,2^{\circ}\text{C}$ . В настоящее время достройку ГЭС намечено завершить с пониженным НПУ.

Плотина состоит из четырех функционально различных частей: станционной, длиной 270 м; водосбросной с глубинными и временными донными водосбросами (водосброс №1), длиной 110 м; водосбросной в виде водосливной плотины (водосброс №2), длиной 90 м; глухой, длиной 309,5 м.

Напорная грань плотины — вертикальная, низовая — наклонная с заложением 1 : 0,7.

По длине напорного фронта плотина разрезана деформационными швами на 34 секции. Контрольные наблюдения за состоянием плотины проводятся в пяти исследуемых секциях: станционной №12, двух водосбросных — №21 (водосливная плотина) и №28 (плотина с глубинными водосбросами); двух глухих — №31 и №34 (секция, примыкающая к каменно-набросной плотине).

Деформации бетона измеряются преобразователями линейных деформаций ПЛДС-400, размещаемыми в плоских «розетках» из трех преобразователей или в объемных «розетках» из пяти преобразователей [1].

Для наблюдений за температурным режимом секций бетонной плотины используются показания ПТС-60 (преобразователь температуры струнный).

В состав измерительной точки включен так называемый ненапряженный образец, назначением которого является исключение из деформаций, измеренных в точке, той их части, которая обусловлена свободными изменениями температуры и влажности бетона и не связана с действующими в точке напряжениями [14]. Данный образец представляет собой усеченный конус, конструкция которого обеспечивает изоляцию последнего от окружающего массива, что предусматривает свободное деформирование бетона и гидроизоляцию. Гидроизоляция исключает напряженную деформацию, сопровождающую всестороннее высыхание или набухание.

Показания преобразователя в усачочном конусе  $\epsilon_x$  дают сумму объемных деформаций от химических факторов  $\epsilon_{\text{хим}}$ , от измене-

ния влажности бетона  $\epsilon_{в.л}$  и от температурной составляющей [19]:

$$\epsilon_r = (\alpha_в - \alpha_n)\Delta T, \quad (1)$$

где  $\alpha_в$  — коэффициент линейного расширения бетона;  $\alpha_n$  — коэффициент линейного расширения прибора;  $\Delta T$  — приращение температуры по отношению к температуре, соответствующей начальному отсчету.

$$\epsilon_k = \epsilon_{хим} + \epsilon_{в.л} + \alpha_в\Delta T - \alpha_n\Delta T. \quad (2)$$

Показания преобразователя в массиве  $\epsilon_y$  представляют собой сумму деформаций от действующих внешних сил  $\epsilon_{вс}$ , от химических факторов  $\epsilon_{хим}$ , от части свободной усадочной деформации  $\beta\epsilon_{в.л}$ , от части свободной температурной деформации  $\gamma\alpha_в\Delta T$ , от температурной деформации прибора  $\alpha_n\Delta T$  и от деформации ползучести  $\epsilon_n$ :

$$\epsilon_y = \epsilon_{вс} + \epsilon_{хим} + \beta\epsilon_{в.л} + \gamma\alpha_в\Delta T + \alpha_n\Delta T + \epsilon_n \quad (3)$$

Технические характеристики преобразователей [15, 16], установленных в бетонной плотине Богучанского гидроузла, приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

*Технические характеристики струнных преобразователей*

Наименование преобразователя	Тип	Единица измерения	Диапазон измерения	Предел допускаемой основной погрешности, %
Преобразователь линейных деформаций	ПЛДС-400	$10^{-5}$ отн. ед.	-200...+50	$\pm 2$
Преобразователь температуры	ПТС-60	$^{\circ}\text{C}$	-20...+60	$\pm 2$

Для проведения анализа температурного режима и деформаций бетона плотины Богучанского гидроузла по данным натуральных наблюдений использованы данные: по 74 преобразователям ПЛДС-400, установленным в усадочных конусах; по 74 преобразователям ПЛДС-400, установленным вертикально в розетке; по 150 преобразователям ПТС-60, сопровождающим конус и розетку.

Для обработки информации по КИА, накопленной за время наблюдений, использована компьютерная информационная система «Д1», разработанная в ОАО «НИИЭС».

По преобразователям, вовлеченным в анализ, использованы данные наблюдений с 1984 по 2001 гг.

Деформированное состояние изучается в пяти секциях, охваченных комплексной программой натуральных наблюдений. Так как

данные по отдельным приборам в измерительном сечении на отметке 133 м в секции №12 отсутствуют, проведение анализа температурного режима и деформаций бетона в блоках указанной секции затруднительно.

Температурный режим бетона возведенных массивов определяется температурой наружного воздуха и подразделяется на:

установившийся режим с положительными среднегодовыми температурами (+2...+3°C);

циклический режим с сезонными перепадами (от -15 до +15°C).

Установившийся температурный режим соответствует бетону центральных зон, циклический — наружным шестиметровым зонам. Так, в одном метре от грани температура бетона понижается до -15°C в зимний и повышается до +15°C в летний периоды; в двух метрах от грани температура бетона понижается до -10°C в зимний и повышается до +8°C в летний периоды; в шести метрах от грани температура бетона понижается до -4°C в зимний и повышается до +7°C в летний периоды.

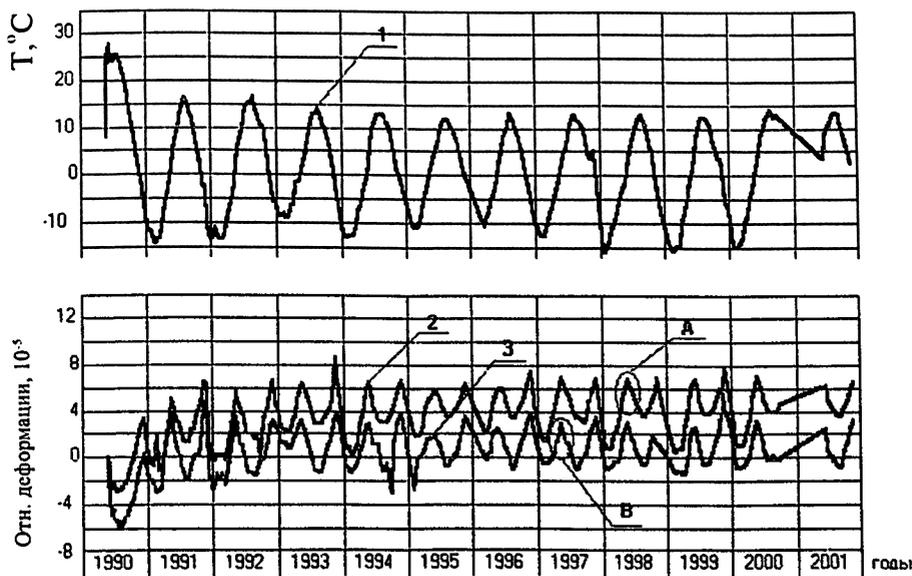
В зимний период холодный воздух проникает через открытые потери, что приводит к промораживанию бетона в некоторых внутренних зонах.

19 из рассматриваемых преобразователей в усадочном конусе и соответственно 19 соседствующих с ними преобразователей, установленных вертикально в розетке, подвержены значительным амплитудам сезонных колебаний температуры наружного воздуха от -18°C до +15°C. Бетон в местах установки рассматриваемой контрольно-измерительной аппаратуры испытывает аномальные деформации расширения (рис. 1).

Отрицательная температура, по данным предшествующих натурных наблюдений, действует на бетон. Для того чтобы установить характер действия отрицательных температур с учетом аномальных температурных деформаций расширения (упрочняющее или разрушающее), произведен статический расчет исследуемых секций №№21, 28, 31 и 34 по методу конечных элементов (МКЭ).

Предполагалось, что в случае преобладания деструктивных процессов измеренные деформации будут больше расчетных, а в случае преобладания упрочняющих — наоборот.

В расчете учтена только нагрузка строительного периода — собственная масса бетона, а сравниваемые с расчетом результаты натурных наблюдений получены как разность показаний преобразователя, ориентированного вертикально в массиве  $\epsilon_y$ , и показаний преобразователя в «усадочном конусе»  $\epsilon_x$ . Таким образом, исключается влияние температурной деформации.



**Рис. 1.** Влияние отрицательной температуры на деформации бетона плотины Богучанского гидроузла: 1 — изменение температуры бетона во времени; 2 — изменение свободных деформаций бетона, измеренных в конусе, во времени; 3 — изменение деформаций, измеренных в массиве бетона, во времени.

Узел А: аномальные температурные деформации расширения бетона по показаниям преобразователя в усадочном конусе.

Узел В: аномальные температурные деформации расширения бетона по показаниям преобразователя, установленного вертикально в розетке.

Расчет напряженно-деформированного состояния неоднородной области для случая плоской задачи был выполнен с использованием программного комплекса, разработанного в ОАО «НИИЭС» Лавровым Б.А. [5].

Свойства среды описывались упругой моделью.

Рассматриваемая область включала поперечное сечение исследуемых секций и основание. По физико-механическим характеристикам материала область подразделялась на две подобласти с физико-механическими характеристиками:

для бетона: модуль упругости  $E = 33 \cdot 10^3$  МПа; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,14$ ; плотность  $\rho = 2400$  кг/м<sup>3</sup>;

для скалы: модуль деформации  $E = 4500$  МПа; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,12$ ; плотность  $\rho = 2800$  кг/м<sup>3</sup> [3, 6].

Для сопоставления данных натуральных наблюдений с расчетными было выбрано 23 пары преобразователей. Рассмотрены характерные температурные режимы бетона в местах установки преобразователей:

1) «замороженный» бетон — первые 6 — 12 мес. после установки преобразователя температура продолжительная, затем бетон подвергается замораживанию (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ) и оттаиванию в течение более 10 лет;

2) «замороженный» в течение 2 — 4 лет бетон — первые 6 — 12 месяцев после установки преобразователя температура положительная, затем бетон подвергается замораживанию (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ) и оттаиванию в течении 2 — 4 лет, далее температура положительная;

3) «теплый» бетон — подвергается действию только положительной температуры.

*Выявлено:*

11 температурных режимов, описываемых 1), из которых в одном случае измеренные деформации больше расчетных и в десяти случаях приблизительно равны;

8 температурных режимов, описываемых 2), из которых в пяти случаях измеренные деформации больше расчетных и в трех случаях приблизительно равны;

4 температурных режима, описываемых 3), когда во всех случаях измеренные деформации равны расчетным.

Равенство (в большинстве случаев) расчетных и измеренных деформаций для бетона, подвергающегося воздействию низких отрицательных температур (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ) в течение длительного периода (до 11 лет), свидетельствует о том, что деформативные характеристики данного бетона не ухудшились. Это можно объяснить тем, что в замороженном бетоне (плотины Богучанского гидроузла) одновременно протекают два равнозначных процесса: деструктивный (связанный с явлениями аномальных температурных деформаций расширения и проявляющийся в образовании микротрещин) и конструктивный (связанный с явлениями смерзания внутренних поверхностей пор). А при оттаивании бетона происходит дополнительная гидратация цемента, вызывающая упрочнение его структуры.

Сопоставление данных расчета и натуральных наблюдений при сезонном воздействии отрицательных температур в течении 2 — 4 лет на бетон, который в последующем работает только при положительной температуре, показывает, что деформативные характеристики бетона, работающего в таких условиях, могут ухуд-

шиться при условии возникновения аномальных температурных деформаций расширения. Данный вывод носит частный характер и требует дальнейшего изучения.

Согласно положениям Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» контроль за безопасностью и оперативная оценка их состояния осуществляются путем сравнения измеренных (или вычисленных на основе измерений) количественных или качественных диагностических показателей с их критериальными значениями.

Назначение состава диагностических показателей напряженно-деформированного состояния (НДС) бетонной плотины и их критериальных значений может производиться в несколько этапов:

на первом этапе выбирается та КИА, которая наиболее чувствительна к изменениям состояния плотины или которая расположена в тех зонах сооружения, где по данным натурных наблюдений контролируемые показатели имеют максимальное значение. Выполняется оценка достоверности и работоспособности КИА;

на втором этапе из общего числа контролируемых показателей, назначенных на первом этапе работ, производится выбор диагностических показателей. Значимость и количество диагностических показателей определяется с учетом природных условий, конструктивных особенностей сооружений и условий эксплуатации;

на третьем этапе определяются критериальные значения  $K_1$  и  $K_2$ .

Основой для назначения критериальных значений состояния бетонных плотин с учетом явлений аномальных температурных деформаций расширения должны служить данные натурных наблюдений, а также результаты сопоставления последних с расчетными исследованиями НДС (по схеме, изложенной выше). Для бетонных плотин, строящихся и эксплуатирующихся в суровых климатических условиях, следует дополнить перечень контролируемых показателей (в сравнении с перечнем, приведенном в приложении 2 «Методики определения критериев безопасности гидротехнических сооружений») с учетом явлений аномальных температурных деформаций расширения.

Для диагностики эксплуатационного состояния бетонных плотин наряду с измеряемыми показателями необходимо контролировать качественные показатели, которые фиксируются визуальными наблюдениями в первую очередь в тех зонах сооружения, где контрольно-измерительной аппаратурой зафиксированы деструктивные (разрушающие) процессы, связанные с проявлением аномальных температурных деформаций расширения.

### Выводы

1. Впервые натурными наблюдениями зафиксированы аномальные температурные деформации расширения массивного бетона, которые свидетельствуют о проявлении деструктивных разрушающих процессов в блоках плотины Богучанского гидроузла.

2. В замороженном (в течении периода наблюдений) в зимне-весенний период бетоне плотины Богучанского гидроузла одновременно протекают два равнозначных процесса:

деструктивный (разрушающий), связанный с явлениями аномальных температурных деформаций расширения бетона, проявляющийся в образовании и накоплении микро- и макротрещин в результате воздействия гидравлического давления, миграции льда, кристаллизационного давления;

конструктивный (упрочняющий), связанный с явлениями сжатия внутренних поверхностей пор.

3. Для бетонных плотин, строящихся и эксплуатирующихся в суровых климатических условиях, следует дополнить перечень контролируемых количественных показателей (в сравнении с перечнем, приведенном в [8]) с учетом аномальных деформаций расширения бетона. Так, наряду с напряжениями в сооружениях следует контролировать деформации бетона.

4. Основой для назначения критериальных значений состояния бетонных плотин с учетом явлений аномальных температурных деформаций расширения должны служить данные натурных наблюдений, а также результаты сопоставления последних с расчетными исследованиями НДС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов И.Ф., Мирзак Е.М., Лавров Б.А., Гальперин И.Р. Контрольные наблюдения на бетонной плотине Богучанской ГЭС в строительный период. //«Гидротехническое строительство». 1993. №9.
2. Вайденаум Г.И. Температурные деформации влажных строительных материалов. - В кн. «Успехи строительной физики в СССР». //Научные труды НИИ строительной физики. Вып. III. Теплофизика. М. 1967.
3. Геология и плотины. Богучанская плотина на р. Ангаре. Сборник статей. Т. XII. М.: «Энергоатомиздат». 1992.
4. Дурчева В.Н. Натурные исследования свободных температурных деформаций бетона в блоках плотины Братской ГЭС при длительном действии отрицательной температуры. //«Гидротехническое строительство». 1967. №6.
5. Лавров Б.А. Реализация плоской модели МКЭ для расчетов напряженно-деформированного состояния элементов конструкций гидротехнических

- сооружений. Сборник научных трудов Гидропроекта. Вып. 85. «Автоматизация исследований, расчетов и проектирования». М.: 1983.
6. **Лысенко М.П.** Состав и физико-механические свойства грунтов. М.: «Недра», 1980.
  7. **Лядов Ю.Д., Семененок С.Н., Сухоцкая С.С., Шаркунов С.В.** О надежности бетона основных сооружений Богучанской ГЭС. //«Гидротехническое строительство». 1995. №5.
  8. **Методика** определения критериев безопасности гидротехнических сооружений. М.: ИПЦ «Глобус». 2001.
  9. **Москвин В.М., Капкин М.М., Антонов Л.Н.** Влияние отрицательных температур на прочность и упругопластические свойства бетона. // «Бетон и железобетон». 1967. №10.
  10. **Москвин В.М., Капкин М.М.** Влияние низких отрицательных температур на деформативность цементного камня. - В кн. «Коррозия железобетона и методы защиты». Академия строительства и архитектуры СССР, НИИ бетона и железобетона. М. 1962.
  11. **Москвин В.М., Капкин М.М.** Деформация цементного камня при низких отрицательных температурах и методика их изучения. - В кн. «Методика лабораторных исследований деформаций и прочности бетона, арматуры и железобетонных конструкций». Труды координационного совещания. М.: «Госстройиздат». 1962.
  12. **Москвин В.М., Капкин М.М., Мазур Б.М.** Температурные деформации бетонов при отрицательных температурах. // «Гидротехническое строительство». 1964. №6.
  13. **Москвин В.М., Капкин М.М., Савицкий А.Н., Ярмаковский В.Н.** Бетон для строительства в суровых климатических условиях. Л.: «Стройиздат». 1973.
  14. **Натурные** наблюдения и исследования на бетонных и железобетонных плотинах (пособие к СНиП II-54-77 «Плотины бетонные и железобетонные», pp. 1.59-1.63). Л.: «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева». 1985.
  15. **ОСТ 34-72-591-83.** Преобразователи измерительные струнные для контроля состояния гидротехнических сооружений. Общие технические требования. М.: Министерство энергетики и электрификации СССР. 1983.
  16. **ОСТ 34-72-650-83.** Методики выполнения измерений компонентов напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений струнными измерительными преобразователями. М.: Министерство энергетики и электрификации СССР. 1984.
  17. **Пинскер В.А.** О деформации бетона при низких отрицательных температурах. В кн. «Температурные деформации зданий, возводимых в суровых климатических условиях». Л.: «ЛенЗНИИЭП». 1973.
  18. **Эйдельман С.Я.** Натурные исследования бетонной плотины Братской ГЭС. Издание 2-е дополненное и переработанное. Л.: «Энергия». 1975.
  19. **Эйдельман С.Я.** Натурные исследования бетонных гидротехнических сооружений. М.-Л.: «Госэнергоиздат». 1960.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВЫПОЛНЕНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ КОМИССИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ РАО «ЕЭС РОССИИ»

*Добрынин С.Н., доктор техн. наук (ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»),  
Долматов А.А., инженер (ОАО «ЭСКО» ОАО РАО «ЕЭС России»)  
Маркин В.Н., инженер (Департамент производственно-технической  
политики Б-е «Гидрогенерация» ОАО РАО «ЕЭС России»), Тихонова Т.С.,  
кандидат техн. наук (ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»).*

Одним из основных механизмов реализации требований, предъявляемых Федеральным законом «О безопасности гидротехнических сооружений», является периодическое комиссионное обследование гидротехнических сооружений.

В электроэнергетической отрасли России последние три десятилетия достаточно успешно функционирует система отраслевого надзора за состоянием гидротехнических сооружений электрических станций в соответствии с «Положением о системе отраслевого надзора за безопасностью гидротехнических сооружений» [1]. При этом, периодически (один раз в пять лет) оценивается устойчивость сооружений, прочность конструкций, фильтрация, уровень оснащенности контрольно-измерительной аппаратурой (КИА), обеспеченность нормативно-технической документацией, уровень квалификации эксплуатационного персонала, состояние механического и вспомогательного оборудования и т.д. В результате дается оценка состояния гидротехнических сооружений, отмечаются недостатки и необходимость проведения ремонтных работ, составляется план-график устранения замечаний комиссии.

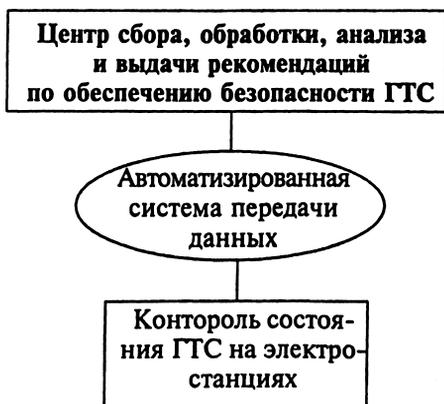
Основным содержанием Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» [2] является усиление контроля за безопасностью ГТС на территории Российской Федерации. Поэтому основные положения отраслевой системы надзора за безопасностью гидротехнических сооружений, предусматривающие такой контроль с периодичностью в пять лет, уже становятся недостаточными.

В целях выполнения требований вышеуказанного закона Департамент Департамент производственно-технической политики Б-е «Гидрогенерация» ОАО РАО «ЕЭС России» ставит задачу создания системы постоянного мониторинга выполнения рекомендаций по повышению безопасности ГТС, высказанных комиссиями по обследованию этих сооружений, с частотой контрольного периода не бо-

лее одного квартала на базе современных информационно-аналитических технологий с использованием компьютерных сетей связи [3].

Такая система не только обеспечит постоянный контроль за состоянием ГТС электроэнергетической отрасли РФ, но и позволит на основании проведенного анализа давать рекомендации по своевременному принятию решений в критических ситуациях.

Организация функционирования мониторинга базируется на трех основных составляющих (рис. 1).



**Рис. 1.** Структура организации мониторинга выполнения рекомендаций комиссии по обследованию ГТС объектов энергетики

***Центр сбора, обработки, анализа и выдачи рекомендаций по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений***

Основными задачами центра являются:

ежеквартальное получение и систематизация данных о состоянии ГТС с электростанций РАО «ЕЭС России»;

ежеквартальное обобщение и анализ состояния ГТС электроэнергетической отрасли России;

выработка рекомендаций для принятия решения по обеспечению безопасности ГТС объектов энергетики.

Эти задачи решаются специалистами Департамента производственно-технической политики Б-е «Гидрогенерация» ОАО РАО «ЕЭС России».

***Службы контроля состояния ГТС на электростанциях РАО «ЕЭС России»***

Основными задачами, решаемыми этими службами на конкретных объектах, являются:

контроль за выполнением рекомендаций комиссии по обеспечению безопасности ГТС объекта;

передача данных о результатах контроля в Центр сбора, обработки, анализа и выдачи рекомендаций.

Эти задачи решаются эксплуатационными службами электростанций.

### *Автоматизированная система передачи данных*

В целях создания постоянной двусторонней связи для передачи данных о состоянии ГТС с объектов электроэнергетики в Центр мониторинга используется «электронная почта». Для упрощения приема и передачи данных разработано программное обеспечение, облегчающее заполнение требуемых форм на объекте и автоматизированное занесение принимаемой информации в базу данных мониторинга состояния ГТС.

Состояние ГТС электростанций РАО «ЕЭС России» оценивается по результатам выполнения рекомендаций комиссии по обследованию гидротехнических сооружений этих объектов. Поэтому за исходные данные для мониторинга принимаются: перечень электростанций РАО «ЕЭС России» с их основными параметрами, база данных актов обследования этих объектов и база данных контроля выполнения рекомендаций по обеспечению безопасности ГТС.

Структура базы данных мониторинга состояния ГТС приведена на рис. 2.



Рис. 2. Структура базы данных мониторинга состояния ГТС

Очевидно, параметры, включенные в базу данных мониторинга состояния ГТС, позволяют ежеквартально оценивать, как выполняются работы по обеспечению безопасности ГТС на всех объектах РАО «ЕЭС России».

Следует отметить, что система постоянного мониторинга ГТС электростанций РАО «ЕЭС России» создана впервые и осуществляется с июля 2001 г. Для ее эксплуатации выполнены следующие этапы:

на электростанции РАО «ЕЭС России» и АО-энерго разосланы информационное письмо о начале функционирования мониторинга, программное обеспечение сбора и передачи контрольных данных и инструкция по его эксплуатации;

организован прием, сбор и анализ информации с объектов; вся система мониторинга введена в опытную эксплуатацию с 1 января 2002 г.

Исходя из основных задач, назначения и общей структуры банка данных выполнения планов ремонтных и восстановительных работ на ГТС, общая структура алгоритма работы автоматизированной системы мониторинга выполнения рекомендаций комиссии по обеспечению безопасности ГТС (МНТ) в главном окне содержит следующие режимы:

**Выход   МОНИТОРИНГ ДЕКЛАРАЦИИ   Окна   Help**

*Работа с системой в режиме «МОНИТОРИНГ»*

При выборе режима работы «МОНИТОРИНГ» появляются окна I-го и II-го уровней системы в виде, показанном на рис.3.

*Режим работы «Поиск по названию»*

При работе в этом режиме имеется возможность получить следующую информацию по каждому объекту:

реквизиты объекта;

рекомендации комиссии по актам обследования;

невыполненные рекомендации с обоснованием причины невыполнения и процентом выполнения за квартал и год анализа; выполненные работы;

анализ полученных результатов, представленный в виде графической интерпретации.

*Режим работы «Поиск по параметрам»*

При поиске по параметрам задается поисковое значение и процент разброса. Например, срок службы объекта  $L = 20$  лет и процент равен  $P_r = 5$ , таким образом в список попадут объекты со значениями в диапазоне от  $L_{\min} = 19$  до  $L_{\max} = 21$ ; ( $L_{\min} = L - (L/100 * P_r)$ ;  $L_{\max} = L + (L/100 * P_r)$ ). Результаты поиска выдаются на печать. Пример работы системы в этом режиме приведен на рис. 4.

*Режим работы «Россия»*

Выдается весь список объектов, по которым ведется наблюдение, с дальнейшим анализом в виде графической и табличной

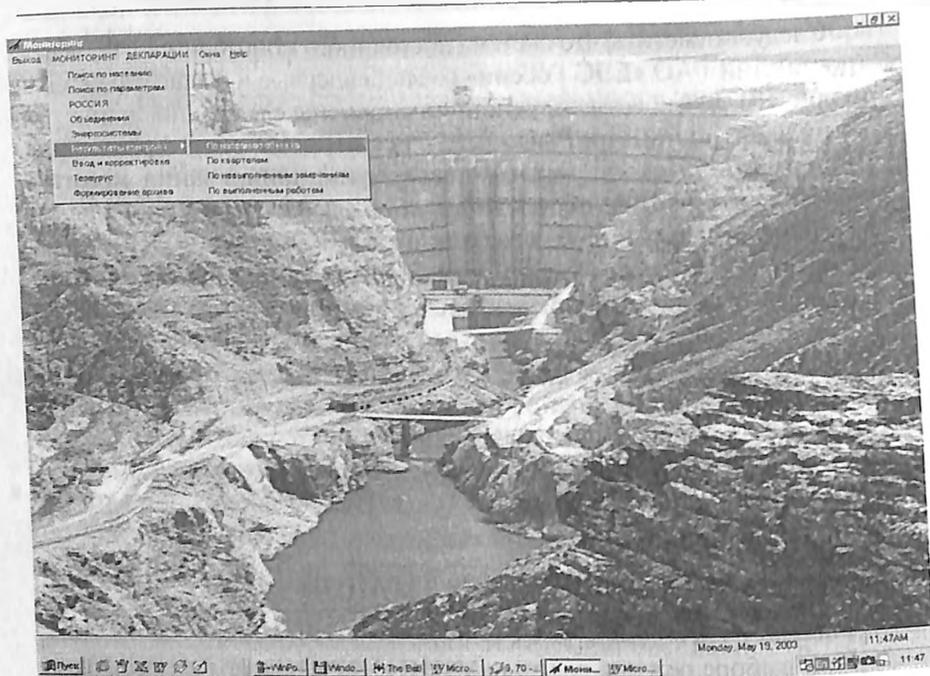


Рис. 3.

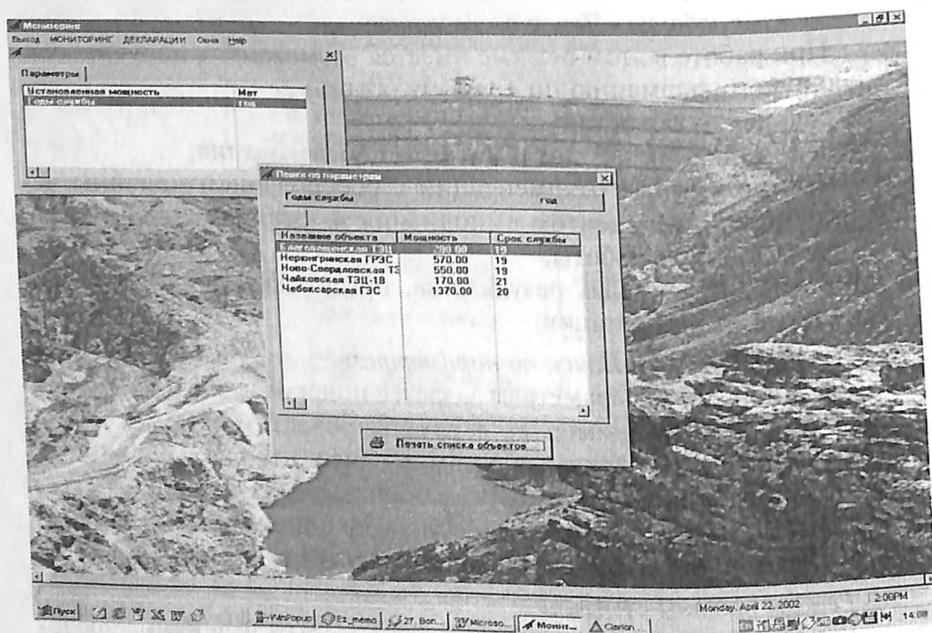


Рис. 4.

интерпретации по количеству и видам работ и причинам невыполнения, а также списки объектов в алфавитном порядке по выполненным и невыполненным работам с указанием принадлежности к объединению и энергосистеме, процента выполнения по кварталам и указания причин невыполнения.

*Режим работы «Объединения»*

После выбора этого режима работы на экран монитора выводится список объединений энергетических объектов:

Волгоэнерго;  
Востокэнерго;  
Севзапэнерго;  
Сибирьэнерго;  
РАО «ЕЭС России»;  
Центрэнерго;  
Южэнерго

По каждому объединению определяется совокупная установленная мощность с перечнем энергетических объектов, входящих в выбранное объединение; выводятся списки невыполненных рекомендаций и списки выполненных работ.

*Режим работы «Энергосистемы»*

Работа производится аналогично работе системы в режиме «Объединения», только в разрезе энергосистем.

*Работа с системой в режиме «Результаты контроля»*

При выборе этого режима работы появляется всплывающее меню: по названию объекта;  
по кварталам;  
по невыполненным замечаниям;  
по выполненным работам.

В данном режиме анализу подлежат только те объекты, по которым была получена ответная информация.

*Работа с системой в режиме «Ввод и корректировка»*

В этом режиме осуществляется ввод и корректировка информации по выполнению рекомендаций актов обследования гидроэнергетических объектов.

Отдельным программным блоком модуль «Ввод и корректировка» устанавливается на объектах для передачи данных мониторинга в центр сбора, обработки и выдачи рекомендаций по обеспечению безопасности ГЭС. Для служб эксплуатации электростанций разработана «Инструкция по эксплуатации автоматизированной системы занесения и передачи данных мониторинга», в которой приведено подробное описание работы системы в этом режиме.

*Работа с системой в режиме «Тезаурус»*

Режим предназначен для занесения многократно повторяющихся ключевых слов при заполнении информации.

*Работа с системой в режиме «Формирование архива»*

Для ведения базы данных «МНТ» предусмотрено хранение занесенной информации в архивированном виде в файле ww.agj, который автоматически создается на МД при работе системы в этом режиме.

*Работа с системой в режиме «ДЕКЛАРАЦИИ»*

Выдается список объектов, у которых составлены декларации безопасности гидротехнических сооружений.

*Работа с системой в режиме «Окна»*

При работе в этом режиме на мониторе появляется «всплывающее» меню с сервисными возможностями отображения информации на экране монитора:

Экран — размещение окон в виде «черепицы»;

Каскад — последовательное размещение окон.

*Работа с системой в режиме «Help»*

Дается краткое описание системы «МНТ» и полная справка по работе в системе Windows.

В заключение следует отметить, что в РАО «ЕЭС России» создана и функционирует автоматизированная система мониторинга состояния гидротехнических сооружений электростанций России, позволяющая ежеквартально оценивать выполнение рекомендованных работ как на уровнях отдельных объектов, так и на уровнях энергосистем и их объединений, что позволяет давать обобщенную оценку для принятия управленческих решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Положение об отраслевой системе надзора за безопасностью гидротехнических сооружений электростанций. РД 34.03.102-88. М.: СПО Союзтехэнерго. 1988.
2. Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21.07.97г.. № 117-ФЗ.
3. Василевский А.Г., Добрынин С.Н., Зотов В.М, Тихонова Т.С. Информационно-аналитическая система данных обследования гидротехнических сооружений. //Гидротехническое строительство. №5. 1998.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ВОДОСБРОСА ХОРОБРОВСКОЙ МГЭС

*Онищенко Г.Ф., Юрченко А.Н., кандидаты техн. наук,  
Зюзин А.Г., инженер (ОАО «НИИЭС»)*

В настоящее время на строящихся, а особенно на существующих гидроузлах очень остро поднимаются вопросы безопасности сооружений. Как показывает практика эксплуатации гидротехнических сооружений, их безаварийная работа в значительной степени зависит от правильно запроектированных, надёжно построенных и надлежащим образом эксплуатируемых водопропускных сооружений. В результате антропогенного воздействия на некоторые водотоки и территорию бассейнов рек гидрологическая ситуация меняется и пропускная способность существующих водосбросов со временем может оказаться меньше необходимой.

Для многих удалённых от населённых пунктов и источников энергоснабжения гидроузлов, где нарастание паводка происходит весьма быстро, предпочтительнее использовать автоматические нерегулируемые водосбросы. Но их недостатком в сравнении с регулируемыми водосбросами является значительная ширина водосливного фронта. Этот недостаток сводится на нет при использовании водосбросов полигонального типа. Водосбросы подобного вида используются в составе водопропускных сооружений многих гидроузлов: Bartletts Ferry, Carty (США), Avon (Австралия), Santa Justa (Португалия), Jutarnaiba (Бразилия) и др.

Водосбросы полигонального типа имеют ряд существенных преимуществ:

они относятся к автоматическим (нерегулируемым) водосбросам. В этом случае отсутствуют затраты на затворное оборудование, не требуется их обслуживание, то есть исключаются риски, связанные с человеческим фактором и перебоями в энергоснабжении. Также для подобного типа водосброса характерно оперативное включение в работу по пропуску паводка (при незначительной аккумулирующей ёмкости водохранилища);

несмотря на существенную длину водосливной кромки, благодаря своим плановым очертаниям водосброс имеет относительно компактный размер;

за счёт большой протяжённости водосливного фронта происходит уменьшение удельных расходов на гребне водослива;

благодаря небольшому напору на гребне водослива при высоких паводках существенно уменьшаются затопления территорий в верхнем бьефе;

В мировой практике применяются полигональные водосбросы следующих основных видов: трёхсторонний, Y-образный, мексиканского типа, «маргаритка», трапецеидальный. Водосбросы этих типов широко используются в ряде стран Европы, Африки, Америки и Азии с теплым и умеренным климатом. На Хоробровской МГЭС (Россия) в центральной части водосбросного фронта установлен полигональный водослив трапецеидального вида (рис.1).

Хоробровская экспериментальная малая ГЭС расположена на р. Нерль в Ярославской области. Одним из основных назначений этого гидроузла является проверка перспективного гидротехнического оборудования в климатических условиях России с морозными и снежными зимами перед последующим его внедрением на других гидроузлах.

*В состав основных сооружений Хоробровского гидроузла входят:*  
здание ГЭС;

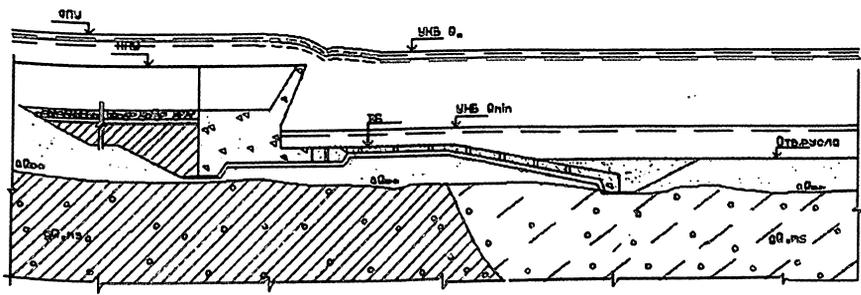
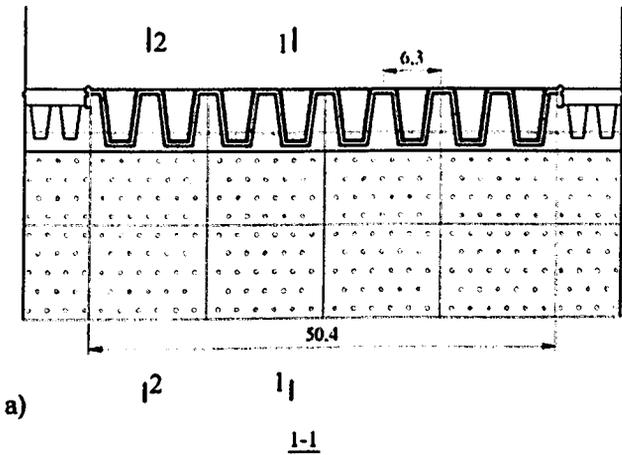
лабиринтный водосброс;

правобережная и левобережная экспериментальные водосбросные секции, оборудованные затворами «Гидроплюс».

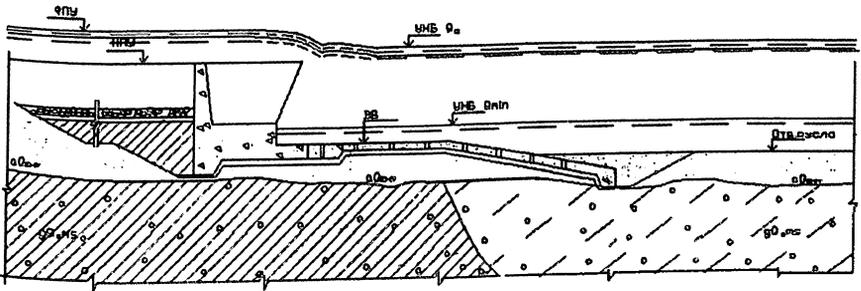
Хоробровская МГЭС является экспериментальным гидроузлом, на котором в натуральных условиях проводятся испытания затворов «Гидроплюс», установленных на пороге и являющихся частью водосливного фронта. Водосброс в составе водопропускных сооружений был устроен для оценки возможности использования водосброса лабиринтного типа в суровом климате России, а условия работы лабиринтного водосброса представляют большой практический интерес. В настоящее время в гидравлической лаборатории ЦГИ ОАО «НИИЭС» разрабатываются полигональные водосбросы, состоящие из продольных бычков и поперечных стенок, представляющих собой автоматические затворы типа «Гидроплюс», укладываемые при определённом напоре на порог и тем самым увеличивающие пропускную способность водосброса. В последующем предполагается установка затворов этого типа в водосбросные пролёты Хоробровской МГЭС.

Плановые очертания лабиринтной водосливной стенки и разрезы по ней показаны на рис.1. Лабиринтный водосброс состоит из восьми секций и представляет собой железобетонную зигзагообразную в плане стенку (рис.1.а). Ширина водосброса вдоль водосбросного фронта — 50,4 м, длина его вдоль потока — 6,0 м,

при этом длина периметра водосливной кромки составляет 127,8 м. Высота стенки над поверхностью плиты водобоя составляет 4,65 м, а со стороны верхнего бьефа — 2,5 м (рис. 1.6). На рисунках 2, 3 представлены фото лабиринтного водосброса, сделанные 6.03. 2003 и 3.07. 2003 соответственно.



2-2



б)  
Рис. 1. План и разрезы по водосливной секции лабиринтного водосброса



**Рис. 2.** Лабиринтный водосброс Хоробровской МГЭС (6 марта 2003 г.)



**Рис. 3.** Пропуск расхода через лабиринтный водосброс (3 июля 2003 г.)

К существенным достоинствам лабиринтного водосброса этой конструкции следует отнести то, что часть энергии сливаемой с продольных стенок воды гасится при соударении струй друг о друга. При встречном перемешивании струй на пороге также происходит дополнительная диссипация энергии. При дроблении сбрасываемого потока на струи и их интенсивном перемешивании происходит значительная аэрация потока, что видно по его белому цвету на рис. 3. В экологическом отношении такой режим потока более предпочтителен, так как способствует большему насыщению его кислородом.

На Хоробровском гидроузле в течение двух лет с момента ввода его в эксплуатацию производились наблюдения за работой водосброса. Наибольший интерес вызывают наблюдения за работой водосброса в зимний период (рис. 2), тем более что климатические условия двух зим, во время которых проводился мониторинг, сильно отличались друг от друга. Зима 2001/2002 гг. выдалась сравнительно теплой, лишь декабрь и начало января были морозными, после чего температура воздуха вплоть до апреля колебалась в пределах  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ , а график осредненной температуры уже в начале февраля вышел на отметку  $0^{\circ}\text{C}$ . Зима же 2002/2003 гг., наоборот, выдалась очень холодной. До середины января мороз усиливался, стремясь к рекордным для данного района отметкам, и достиг своего максимума на уровне  $-35^{\circ}\text{C}$ . Во второй половине января температура воздуха была около  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ , после чего, в начале февраля, вновь упала до  $-30^{\circ}\text{C}$  и постепенно начала подниматься, достигнув плюсовых температур в конце марта. Осредненная температура воздуха зимой 2002/2003 гг. была приблизительно на  $8^{\circ}\text{C}$  ниже, чем зимой 2001/2002 гг. Толщина снежного покрова была в среднем около 20 см, а ее максимум равнялся 40 см. Перелив воды через лабиринтный водосброс в зимнее время составлял  $5\div 10$  см.

На площадке Хоробровского гидроузла в зимний период преобладал ветер в основном северо-западного направления (со стороны нижнего бьефа). Следствием этого является вынос брызг от слива через лабиринт в верхний бьеф, намокание снега и намораживание льда внутри лабиринта и перед ним до толщины 0,7 м. В более холодную зиму 2002/2003 гг. на гранях со стороны нижнего бьефа лабиринтного водосброса намерзали огромные глыбы льда, а над самими лабиринтами образовывались ледяные своды такой массы (рис. 2), что к началу марта лед начал разламываться под собственным весом. Зимой 2001/2002 гг. со стороны нижнего бьефа большие наледи отсутствовали. Ветер противоположного на-

правления (со стороны верхнего бьефа), который весной может пригнать к водосливу лед, отошедший от берегов, наблюдался редко и обладал небольшой скоростью, которой было недостаточно для оказания существенного влияния на подвижку льда.

В верхнем бьефе в 10 м от лабиринтного водосброса измерялась толщина льда. В первую более теплую зиму толщина льда, намерзшего к началу января, составила 38 см и практически не менялась до середины февраля, когда началось таяние. В следующую зиму 2002/2003 гг. толщина льда постепенно увеличивалась с 30 см в середине декабря до 52 см к середине февраля. Граница ледяного поля относительно лабиринтного водосброса в зависимости от температуры воздуха располагалась:

в 10÷20 см от верховой водосливной кромки водосброса, что случалось после длительной оттепели;

с заходом в секции водосброса вдоль нижней водосливной кромки в 10÷20 см от нее. Это происходило при морозе не ниже — 15÷20°С и наблюдалось чаще всего;

ледяное поле полностью затягивало водосброс, и сброс воды происходил под ледяным сводом. Этот вариант встречался при сильных продолжительных морозах. Можно предположить, что при напоре на водосброс больше, чем 5÷10 см, граница ледяного поля будет отодвигаться в сторону верхнего бьефа.

В нижнем бьефе в зимнее время у лабиринтного водосброса Хоробровского гидроузла образуется полынья, которая в сильные морозы сужается до 2÷3 м, а во время оттепели увеличивается до 10÷20 м. На рис. 2 представлено фото водосброса от 6 марта 2003 г. Заметен незначительный перелив через кромку водослива. На фото видны большие наледы под струями, а между выступающими частями водослива отмечались скопления снега и льда.

На рис. 4 представлены графики изменения уровня воды в верхнем бьефе Хоробровской МГЭС. Весенний паводок 2002 г. был продолжительный, но пик его был небольшим. Весеннее половодье 2003 г. из-за резкого потепления было скоротечней, и в момент прохождения пикового расхода напор на водосбросе составил 50 см (рис. 4). За несколько дней до пика паводка наблюдался незначительный ледоход. Льдины размером 1,2 x 0,8 м, отломившиеся от ледяного поля, переваливались через лабиринтный водосброс.

На рис. 5 показана пропускная способность лабиринтного водосброса. Ломаная линия верхней кромки значительно более чем в 2,5 раза увеличивает пропускную способность водосброса по срав-

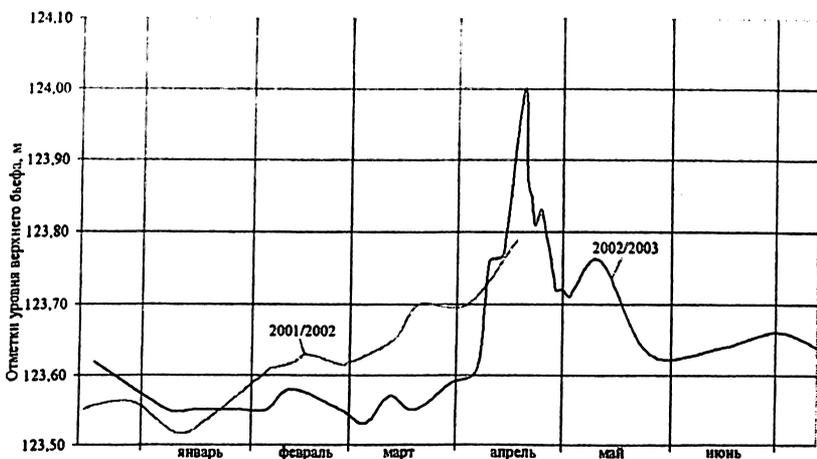


Рис. 4. График колебаний уровня верхнего бьефа Хоробровской МГЭС

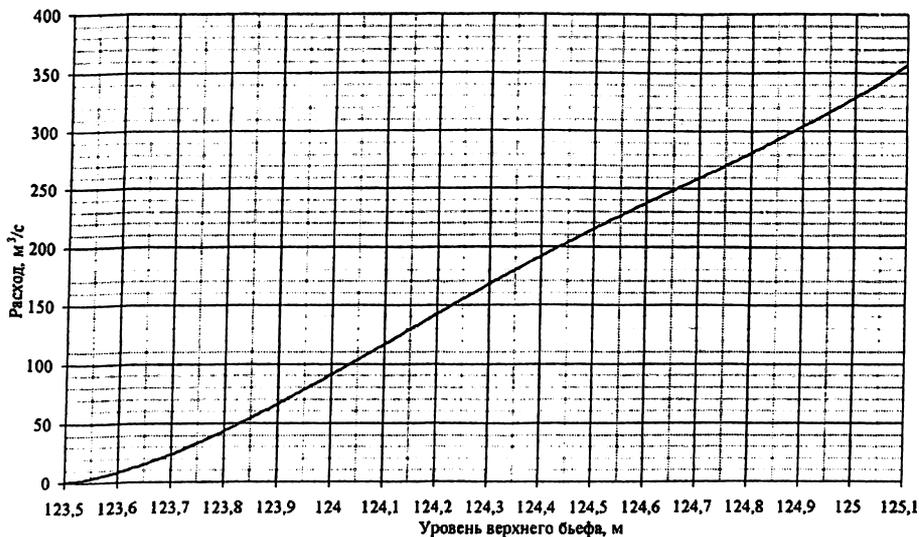


Рис. 5. График пропускной способности лабиринтного водосброса

нению с водосливом с прямой стенкой, особенно при небольшой толщине переливающего слоя. В нижнем бьефе вблизи лабиринтного водослива в паводок наблюдалась некоторая неравномерность распределения скоростей. Следует отметить, что подходящий к водосбросу мусор, в виде бревен, досок и т.д., при малой толщине слоя перелива скапливался в верхнем бьефе. В связи с зигзаго-

образной формой лабиринта его сбор и удаление было затруднено. При увеличении толщины переливающего слоя плавающий мусор сбрасывается в нижний бьеф через водослив.

#### **Заключение**

В процессе мониторинга фактически была подтверждена возможность использования лабиринтного водосброса в климатических условиях России. В ходе зимнего мониторинга за водосбросом отмечалось намерзание больших ледяных глыб на низовых поверхностях водослива, обусловленное преобладанием в этот период северо-западных ветров (со стороны нижнего бьефа). В период весеннего паводка эти ледяные глыбы под собственным весом разрушались и опрокидывались в нижний бьеф. При увеличении толщины переливающего слоя в весенний паводок возможен также сброс отдельных льдин в нижний бьеф. Аналогично льду у кромки водослива скапливается плавающий мусор, который при увеличении слоя перелива уносится в нижний бьеф.

Гашение энергии сбрасываемого в нижний бьеф потока происходит достаточно эффективно, о чём свидетельствует состояние потока на рисберме сооружения. При прохождении потока через лабиринтный водослив достигается позитивный экологический эффект. Поток, раздробленный на струи, интенсивно аэрируется (рис.3). Следует отметить, что погодные условия этих двух зим (2001, 2002, 2003 гг.) различались значительно, поэтому необходимы дальнейшие натурные наблюдения за водосбросными сооружениями Хоробровской МГЭС.

## **СИСТЕМНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ТЭС**

*Слесарев В.А., Слесарев С.В., инженеры  
(ООО «ЭКО СПЕЦ ЭНЕРГО»)*

Современное состояние строительных конструкций зданий и сооружений ТЭС, сроки эксплуатации которых в большинстве своем достигли периода ускоренного износа, требования Федерального закона №116-ФЗ от 20.07.97 г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и ряда постановлений Правительства РФ по вопросам декларирования и экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов [1] определяют необходимость пересмотра

существующих принципов диагностики строительных конструкций энергопредприятий. Большинство зданий и сооружений ТЭС отнесено к опасным производственным объектам [2], в связи с чем при экспертизе их промышленной безопасности должны определяться параметры остаточного ресурса и степени риска по методикам оценки этих параметров для опасных технических устройств. Одновременно необходимо учитывать результаты новейших отечественных и зарубежных исследований надежности и долговечности зданий и сооружений как строительных систем [3, 4].

Так, например, в нашей стране строительной наукой и практикой предполагалось, что система эксплуатационной надежности такова, что полностью игнорировалась вероятность возможности нарушений зданий и сооружений. В строительных нормах и правилах (СНиП) по проектированию строительных конструкций не учитывались показатели долговечности и надежности строительных конструкций и систем. Основными направлениями исследований и нормирования в строительном проектировании было изучение характеристик материалов конструкций и уточнение параметров нагрузок на них. Аналогичное положение имело место и при диагностике технического состояния строительных конструкций, где основное внимание уделялось проблемам определения фактических характеристик конструкций и анализу фактических нагрузок на элементы перекрытий и покрытия.

Анализ причин аварий и отказов строительных конструкций промышленных зданий показывает, что основными причинами этих происшествий являются ошибки, допущенные на различных стадиях создания и эксплуатации этих объектов. По данным отечественных и зарубежных исследований [3, 4], а также периодических изданий эти ошибки вызывают до 90% аварийных ситуаций. Так, согласно [3], при обследовании 263 ферм покрытия главных корпусов ТЭС на 3 объектах выявлены 84 фермы, или 32,1% от общего количества, имеющие серьезные дефекты и повреждения. Эти конструкции прошли заводской, приемочный контроль и были приняты после монтажа в постоянную эксплуатацию заказчиком. Известно, что кровельные фермы являются одним из наиболее уязвимых и опасных элементов строительных конструкций главного корпуса ТЭС. За последние 40 лет авторы принимали участие в расследовании 10 масштабных обрушений покрытий главных корпусов ТЭС, которые приводили к значительному разрушению оборудования и строительных конструкций. Во всех этих авариях причинами обрушения являлись ошибки исполнителей (челове-



Рис. 1.

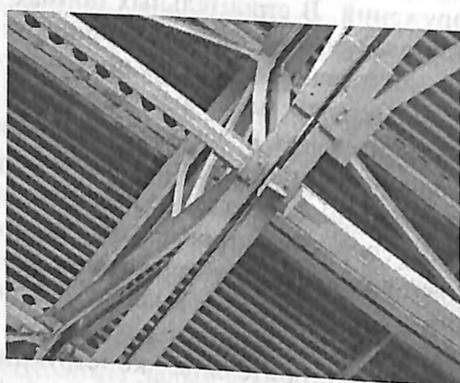


Рис. 2.



Рис. 3.

ческий фактор), связанные с изготовлением, монтажом или эксплуатацией данных конструкций.

Важным обстоятельством, на которое также необходимо обращать внимание при мониторинге промышленной безопасности зданий и сооружений ТЭС, является неудовлетворительное состояние организации проведения обследований строительных конструкций. До 1990 г. существовала система планирования и производства работ по обследованию строительных конструкций ТЭС практически прекратились и проводились только лишь по аварийным или реконструируемым объектам. Отсутствие регулярных обследований строительных конструкций приводит к резкому снижению надежности и безопасности эксплуатации за счет накопления и развития дефектов и повреждений конструкций.

Из перечисленных общих проблем промышленной безопасности зданий и сооружений ТЭС следует, что в настоящее время

необходимо в кратчайшие сроки провести макродиагностику всех зданий и сооружений силами высококвалифицированных экспертных организаций с большим опытом работы. В процессе макродиагностики предполагается выявлять наиболее опасные, слабые места в виде макродефектов, допущенных при изготовлении, монтаже и эксплуатации строительных конструкций. Выявление видимых дефектов и нарушений при проведении макродиагностики позволит существенно повысить уровень информации о фактическом техническом состоянии зданий и сооружений и обеспечит возможность своевременного их устранения и повышения промышленной безопасности зданий и сооружений ТЭС. Для иллюстрации изложенного приводятся несколько характерных фотографий с дефектами и нарушениями, выявленными в процессе проведения работ по макродиагностике конструкций.

При мониторинге промышленной безопасности строительных конструкций зданий и сооружений ТЭС одним из главных вопросов является определение сроков остаточной эксплуатации и уровня их надежности. В нашей стране отсутствует методика определения таких характеристик. Эти характеристики являются определяющими при декларировании промышленной безопасности и диагностике конструкций опасных производственных объектов, к которым отнесены, согласно [2], все основные здания и сооружения комплексов ТЭС.

Методическими указаниями [5] регламентировано определение технического состояния строительных конструкций по 4-балльной шкале в зависимости от степени износа. По этим категориям не могут быть определены остаточные ресурсы несущих и ограждающих конструкций. Существующая шкала также не учитывает влияния макродефектов. Так как показатели надежности и сроки остаточного ресурса крайне сложно определить для зданий и сооружений в целом, считаем наиболее целесообразным выполнение системного мониторинга безопасности путем ранжирования и определения необходимых параметров для однотипных, простых элементов конструкций. Таким способом могут быть исследованы элементы стальных конструкций ферм, по которым имеются методики расчета остаточного ресурса, разработанные ЦНИИ ПСК им. Мельникова. Аналогичные методики для железобетонных конструкций разработаны НИИЖБ.

Многолетний опыт проектирования, строительства, обследований и эксплуатации показал, что следует применять следующую технологию мониторинга промышленной безопасности зданий и сооружений:

I-й этап — выполнение макродиагностики всех конструкций и узлов с фиксированием всех макродефектов и нарушений, влияющих на прочность и устойчивость сооружений. При этом выделяются зоны с повышенным физическим износом для определения необходимых характеристик на втором этапе исследования;

II-й этап — инструментальное определение характеристик, необходимых только для расчета остаточного ресурса конструкций, имеющих признаки физического износа: карбонизации защитного слоя, величины коррозии арматуры, вида и величины коррозии стальных конструкций и др.

Заключение о техническом состоянии строительных конструкций может быть составлено на основе двух факторов:

качественного, по результатам макродиагностики также по 4-балльной шкале, учитывающей снижение уровня надежности от выявленных нарушений;

количественного, при проведении которого определяется остаточный срок эксплуатации по результатам расчетов характерных простых элементов, из которых состоят сложные строительные системы (фермы, подкрановые балки и т. д.).

Такая система мониторинга позволяет наиболее объективно и эффективно оценивать фактическое состояние строительных конструкций, определить их остаточный срок и разработать приемы усиления конструкций и увеличения их долговечности. Эта система позволит выявить нарушения элементов, наиболее значимых для обеспечения безопасности, потребует выполнения инструментальных исследований только для тех конструкций, по которым необходим расчет сроков остаточной эксплуатации.

Безопасная эксплуатация опасных производственных объектов — ТЭС — во многом определяется безопасностью зданий и сооружений. Поэтому при разработке технических регламентов по энергетическим устройствам необходимо включить специальный раздел, где должны быть представлены нормативные величины уровней безопасности, долговечности, надежности и требования по их обеспечению на всех стадиях: проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений. Считаю особо важным включение в технический регламент нормативов по периодичности диагностирования технического состояния и представления деклараций промышленной безопасности (не реже, чем один раз в пять лет).

Необходимо отметить, что проблемы теории и практики эксплуатации и ремонтов зданий и сооружений энергопредприя-

тий оказались в информационном вакууме. В отрасли отсутствует периодическое издание, освещающее эти важные составляющие промышленной безопасности ТЭС. После практической остановки энергетического строительства прекращен выпуск журналов «Энергетическое строительство», «Энергетическое строительство за рубежом», Сборников результатов обследований зданий и сооружений энергопредприятий СПО ОРГРЭС и т. д. В настоящее время назрела необходимость в создании периодического издания такого профиля или выделения раздела «Безопасность энергетических сооружений» в одном из периодических изданий Минэнерго РФ для оперативной информации и обмена опытом эксплуатации зданий и сооружений энергопредприятий.

### **Выводы**

1. Показатели долговечности и оценка степени риска зданий и сооружений действующих ТЭС для декларирования промышленной безопасности, согласно Федеральному законодательству, могут быть определены с использованием системного мониторинга технического состояния строительных конструкций.

2. В техническом регламенте по энергетическим устройствам необходимо предусмотреть весь комплекс мероприятий, обеспечивающих надежность и долговечность зданий и сооружений ТЭС на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации, включая нормативные требования по уровням надежности и долговечности, периодичности декларирования промышленной безопасности и др.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. **Декларирование** промышленной безопасности опасных производственных объектов. Сборник документов. Серия 27. Выпуск 3. Госгортехнадзор России. НТЦ «Промышленная безопасность». Москва. 2003.
2. РД 03-616-03. «Методические рекомендации по осуществлению идентификации опасных производственных объектов». Госгортехнадзор России. НТЦ «Промышленная безопасность». Москва. 2004.
3. **Перельмутер А.В.** «Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций». Киев: «УкрПСК». 2000.
4. **Аугусти Г., Баратта А., Кашкати Ф.** «Вероятностные методы в строительном проектировании». М: Стройиздат. 1988.
5. РД 34.21.363-95. «Методические указания по обследованию производственных зданий и сооружений тепловых электростанций, подлежащих реконструкции». М: СПО ОРГРЭС. 1998.

## КОМПЛЕКС ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ИРКУТСКОЙ ГЭС

*Храпков А.А., доктор техн. наук, Никифоров А.А.,  
Скоморовская Е.Я., инженеры (ОАО «ВНИИГ» им. Б.Е. Веденеева),  
Токарев К.Ф., инженер (ГТЦ Иркутская ГЭС)*

### *Краткое описание Иркутской ГЭС*

Иркутская ГЭС (ИГЭС) — первая из каскада гидроэлектростанций на р. Ангаре. ГЭС была принята в промышленную эксплуатацию в сентябре 1959 года. Установленная мощность составляет 662,4 МВт, а выработка в средний по водности год — 4,1 млрд.кВтч.

Сооружения напорного фронта (здание ГЭС с грунтовыми плотинами) длиной 2740 м рассчитаны на максимальный напор 31 м. Нормальный подпорный уровень (НПУ) — 457,00 м. Общая длина железобетонного здания — 240 м, ширина — 77 м, максимальная высота — 56 м.

В здании ГЭС, совмещенном с водосбросами, установлено 8 гидроагрегатов мощностью по 82,8 МВт, напряжением 13,8 кВ. Выдача мощности производится по воздушным переходам на открытые распределительные устройства левого (ОРУ-110 кВ) и правого берега (ОРУ-220 кВ). Связь с энергосистемой осуществляется по высоковольтным линиям 110 и 220 кВ.

### *Инженерно-сейсмометрические наблюдения на ИГЭС и система контроля динамической стойкости (СКДС)*

По картам общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-97) расчетная сейсмичность г. Иркутска составляет 8, 9 и 9 баллов для землетрясений с обеспеченностью (за период 50 лет) 10, 5 и 1% соответственно [1]. В соответствии с указаниями [2] на гидротехнических сооружениях I и II классов, расположенных в районах с подобной сейсмичностью, должны быть организованы инженерно-сейсмометрические наблюдения.

Начиная с 1997 года на сейсмостанции ИГЭС, расположенной в секции 2 здания ГЭС, ведется регистрация землетрясений в «ждущем режиме» цифровыми инженерно-сейсмометрическими станциями (ИСС) в 8-канальном исполнении (датчики на отм.456 в блоке монтажной площадки) и 36-канальном исполнении (датчики на отм. 412 и отм. 456 по оси второй сек-

ции). Соответствующая аппаратура создана Институтом земной коры СО РАН и лазерной опытно-методической партией СО РАН (канд. геол.-мин. наук В.А.Павленов и др.) в рамках выполнения программы «Сейсмобезопасность г. Иркутска» с привлечением средств заинтересованных предприятий. С 01.12.1998 г. до конца 2001 г. сейсмостанцией Иркутской ГЭС было записано 33 землетрясения, в т.ч. 6 землетрясений с интенсивностью более 2 баллов.

Организовать при помощи существующей аппаратуры инженерно-сейсмометрические наблюдения на грунтовой плотине гидроузла представляется трудно выполнимой задачей, поскольку существуют серьезные ограничения на длину сигнальных кабелей. Поэтому в проекте системы контроля динамической стойкости (СКДС) для основных сооружений ИГЭС, выполненном в 1997 г. в Центре службы геодинамических наблюдений электроэнергетической отрасли (ЦСГНЭО) под руководством доктора техн. наук В.И.Бронштейна, предусмотрено размещение в здании ГЭС и на грунтовой плотине комплекса инженерно-сейсмометрических наблюдений (КИСН).

Отметим, что СКДС, проект которой разработан в рамках «Программы модернизации и реконструкции ИГЭС», предназначена для измерения, регистрации и оперативного анализа сейсмических воздействий на сооружения напорного фронта гидроузла.

#### *Комплекс инженерно-сейсмометрических наблюдений*

В соответствии с особенностью объекта исследования — ГЭС — измерение колебаний, вызванных землетрясением, производится на значительном расстоянии от собирающего информацию компьютера. Поэтому при определении общей структуры комплекса за основу были взяты поступающие от сейсμοприемников сигналы, преобразование их в цифровую форму и передача в режиме реального времени для обработки в компьютер. Именно цифровая передача данных является принципиальным отличием от системы «Регион», установленной на Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС. Указанная система создана в Красноярском НПО «Сибцветметавтоматика» (В.В.Пивень и др.) и использует передачу информации от сенсоров в аналоговом виде с помощью телеметрической аппаратуры передачи и приема сигналов (ТАППС).

КИСН был разработан специалистами ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.-Веденева» под руководством докт. техн. наук, проф. А.А.Храпкова.

Первый опытно-промышленный образец комплекса был изготовлен в 1993 – 1995 гг. [3] и впоследствии подвергся серьезной модернизации, затронувшей как аппаратную, так и программную части комплекса. В 1997 г. был выпущен опытно-промышленный образец КИСН-97, подвергшийся дальнейшей модернизации при установке на ИГЭС.

В состав аппаратной части комплекса входят центральный пункт сбора информации (ЦПСИ), состоящий из дополненного платой связи компьютера (ПК) и источника бесперебойного питания (ИБП), а также цифровые регистрирующие станции (ЦРС) и первичные преобразователи (сейсмоприемники). ЦПСИ и ЦРС соединены между собой симметричной двухпроводной линией связи (кабель РД 75-3-11), обеспечивающей дальность передачи данных до 550 – 650 м. При необходимости увеличить дальность передачи в состав КИСН вводятся специальные устройства — шлюзы, позволяющие увеличивать длину линий связи ступенями такой же длины (общая длина может достигать 2000 м). Передача данных происходит по принципу мультиплексного канала (МК) в соответствии с протоколом ГОСТ 26765.52-87 (MIL-STD-1553b). Канал связи передает данные на несущей частоте 1 МГц с использованием метода фазовой манипуляции, называемого обычно «Манчестер-2». Система передачи данных обеспечивает высокую скорость и надежность. Для реализации связи используются платы связи, которые разрабатывает и поставляет АО «Электронная компания Элкус». Платы связи устанавливаются в ПК и ЦРС.

ЦРС, помимо упомянутой платы связи, содержит плату аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и плату контроллера (типа 5012А фирмы Octagon Systems).

В качестве велосиметров используются поставляемые ЗАО «Геоакустика» трехкомпонентные пьезоэлектрические сейсмоприемники АВ1632 со встроенным усилителем. Коэффициент преобразования по скорости имеет номинальную величину 1 Вс/м и соответствующую постоянную времени 1 с. В настоящее время, согласно техническим требованиям разработчиков КИСН, изготовитель увеличил коэффициент преобразования до 100 Вс/м с одновременным снижением постоянной времени до 0,01 с.

Программное обеспечение ЦРС позволяет проводить измерения по командам, поступающим из МК, и формировать результаты измерений для передачи в МК.

Программное обеспечение ПК обеспечивает опрос ЦРС, управление питанием комплекса, служит для распознавания и записи сейсмособытий, а также для обработки и хранения полученных записей.

Опытно-промышленная эксплуатация комплекса на Иркутской ГЭС началась 20.12.2002 г.

### *Состав первой очереди КИСН*

В здании ГЭС размещается один створ измерительных точек в секции 2, т.е. между агрегатами №№3 и 4. Измерительные точки (ИТ) находятся вблизи подошвы здания ГЭС (ИТ №3 — в дренажной галерее на отметке 412), вблизи уровня пола машинного зала (ИТ №2 — отметка 441) и в помещении на отметке 456 (ИТ №1).

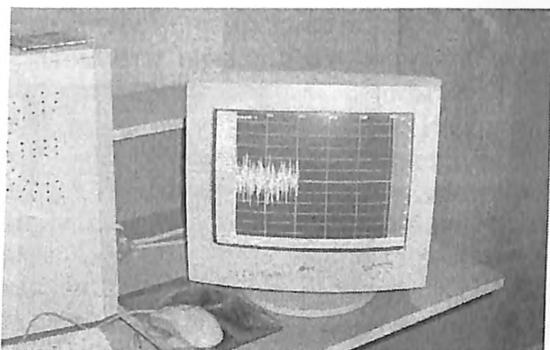
Первая очередь КИСН имеет в своем составе:

центральный пункт сбора информации, включающий ПК и ИБП, установленные в секции 2 здания ГЭС на отметке 456 (рис. 1);

две цифровые регистрирующие станции (типа ЦРС-97) №1 и №2, установленные на отметках 451 и 412 соответственно;

четыре трехкомпонентных акселерометра-велосиметра АВ 1632, установленные на отметках 456 (один сейсмоприемник с коэффициентом преобразования по скорости 0,8 Вс/м), 441 (один сейсмоприемник с коэффициентом преобразования 0,8 Вс/м) и 412 (два сейсмоприемника с коэффициентами преобразования 0,8 Вс/м и 10 Вс/м соответственно).

Общее число каналов регистрации — 12.



**Рис. 1.** Центральный пункт сбора информации

На рис. 2 показана ЦРС №2, расположенная в дренажной галерее. На рис. 3 показана непосредственно ЦРС, а на рис. 4 — один из сейсмоприемников АВ1632.

Общая схема первой очереди КИСН приведена на рис. 5.

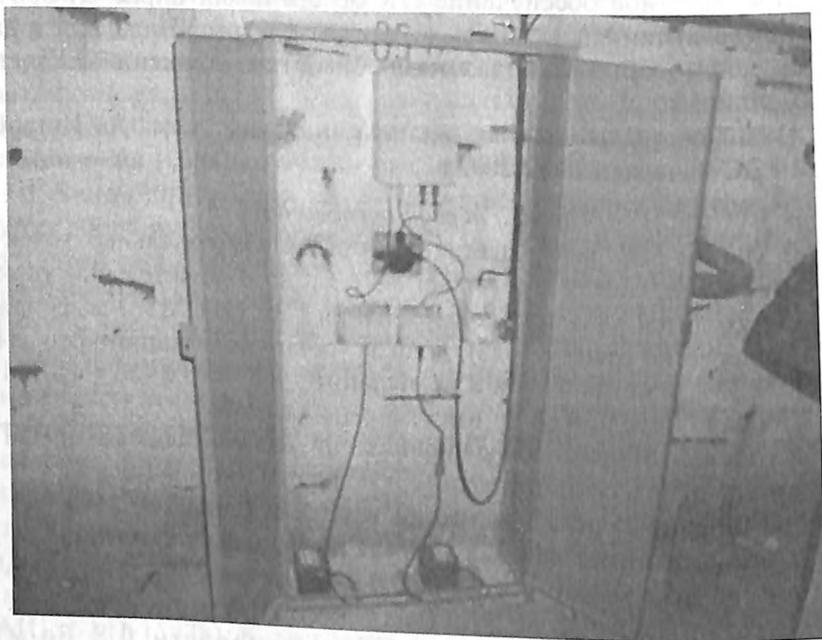


Рис. 2. Цифровая регистрирующая станция и сейсмоприемники, размещенные в шкафу на отметке 412,0

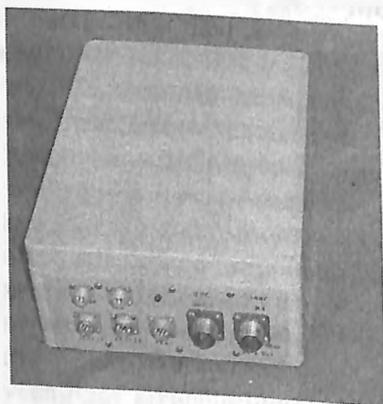


Рис. 3. Цифровая регистрирующая станция

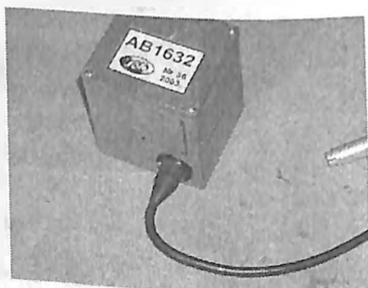


Рис. 4. Сейсмоприемник

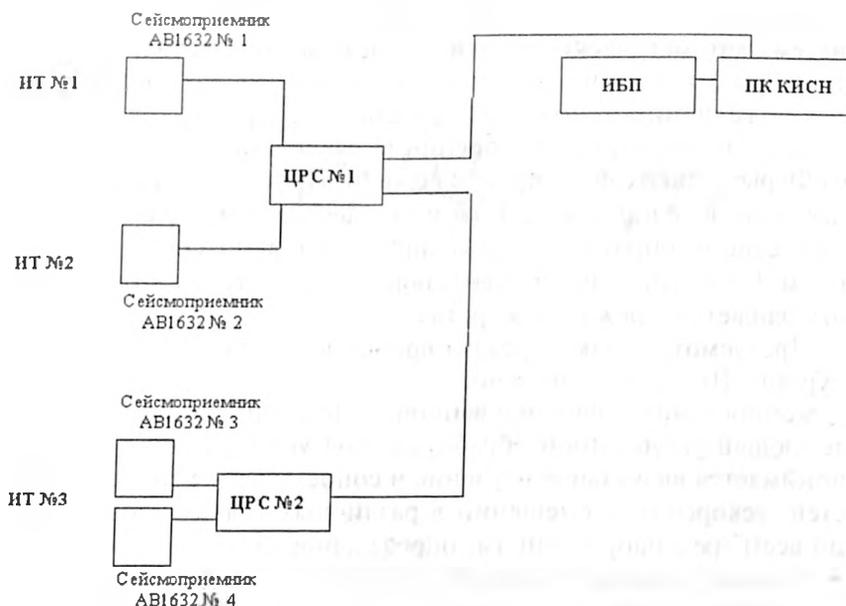


Рис. 5. Структурная схема первой очереди КИСН

### Описание работы системы

Основным режимом работы системы является режим дежурства. Сигналы по всем каналам регистрации от сейсмопреобразователей поступают в центральный компьютер с заданной периодичностью (200 раз в секунду) и анализируются в режиме реального времени на предмет полезности.

Моменты начала и окончания записи определяются алгоритмом распознавания сейсмособытия, который можно кратко определить следующим образом. Начало сейсмособытия в некоторый момент наблюдения считается распознанным, если за предшествующий период длиной в заданное количество секунд амплитуда сигналов в достаточно большом числе каналов в течение заданной части этого периода превышала по абсолютной величине заданный пороговый уровень. Конец сейсмособытия распознается в том случае, когда количество каналов с превышением указанного уровня становится меньше заданного.

На период опытно-промышленной эксплуатации был установлен пороговый уровень величиной 0,075 см/с.

Фиксируются хронограммы скоростей (велосиграммы) точек наблюдения по трем направлениям — поперек потока ( $X$ ), вдоль потока ( $Y$ ) и в вертикальном ( $Z$ ).

После распознавания сейсмособытия и завершения его записи система автоматически выходит из режима дежурства, выполняется обработка, т.е. поканальные сигналы преобразуются в физические величины (скорости), восстанавливаются недостающие физические величины (ускорения и смещения), строятся спектры Фурье, а также формируются файлы-Протоколы. Все полученные и вычисленные величины помещаются в специальные каталоги сейсмособытий, которые предварительно сортируются по датам. По завершении процесса обработки система автоматически возвращается в режим дежурства.

Предусмотрен также режим временного снятия системы с дежурства. При этом возможно:

копирование зафиксированной информации с целью ее последующей углубленной обработки (под углубленной обработкой понимается визуальное изучение и сопоставление записей скоростей, ускорений и смещений в различных точках наблюдения и по всем трем направлениям, определение частотного состава поканальных записей, общая оценка характера колебаний);

изучение реакции железобетонных конструкций здания ГЭС на сейсмическое воздействие;

осуществление визуальной проверки работоспособности каналов.

#### *Результаты сейсмометрических наблюдений в 2003 г*

До 17.09.03 по данным сейсмологической станции «Иркутск» в г. Иркутске не наблюдалось сейсмособытий, в которых значения скорости превосходили порог 0,075 см/с.

17.09.03 было зафиксировано сейсмособытие в 03:00:12 (время на часах ПК КИСН по Гринвичу). Продолжительность записи составила 14 сек. Сейсмостанцией Института земной коры «Иркутск» данное событие идентифицируется как землетрясение класса 13,6 из эпицентра с координатами 51,78 с.ш., 101,52 в.д., находящегося на расстоянии 195 км от г.Иркутска (время в очаге по Гринвичу 02:59:57). Максимальная скорость зарегистрированных колебаний составила 0,14 см/с. (Здесь и далее используются данные сейсмостанции «Иркутск», предоставленные сотрудником Института земной коры СО РАН докт. геол.-мин. наук Е.Н.Черных.) Сделанные аппаратурой КИСН записи охарактеризованы ниже.

На рис. 6 приведены хронограммы скоростей в направлении  $X$  (поперек потока) и амплитуды их Фурье-преобразований для всех четырех сейсмоприемников. На рис. 7 даны аналогичные хронограммы скоростей в направлении  $Y$  (вдоль потока) и ам-

плитуды их Фурье-преобразований, а на рис. 8 представлены соответствующие данные для вертикальных компонент скоростей.

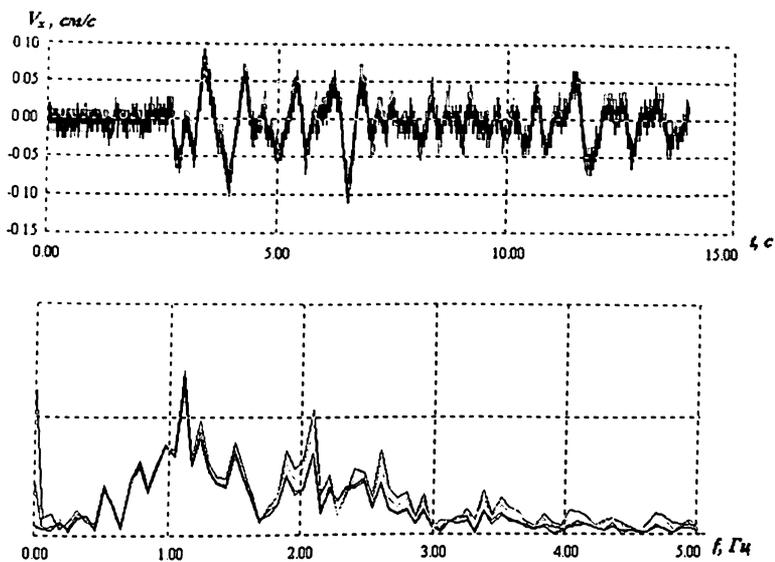


Рис. 6. Велосиграмма в направлении поперек потока ( $X$ ) и ее спектр Фурье

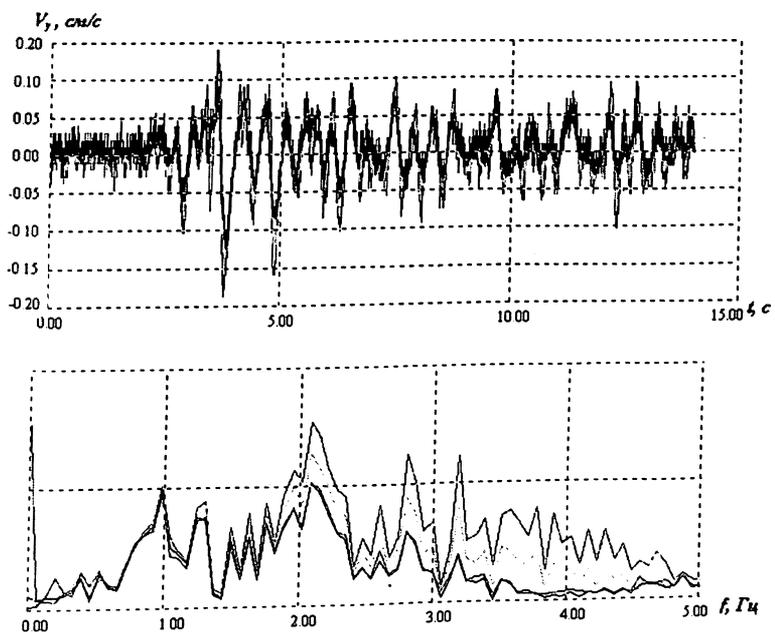


Рис. 7. Велосиграмма в направлении вдоль потока ( $Y$ ) и ее спектр Фурье

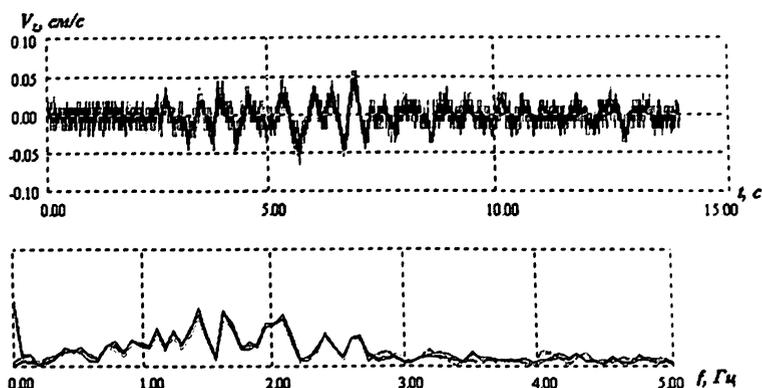


Рис. 8. Велосиграмма в вертикальном направлении ( $Z$ ) и ее спектр Фурье

Рассмотрение велосиграмм позволяет заключить, что практически имеют место колебания здания ГЭС как жесткого целого с преобладающими значениями скоростей в направлении вдоль потока.

Для направления  $X$  можно выделить основной частотный спектр колебаний от 1 до 2,6 Гц, для направления  $Y$  — от 1 до 3,1 Гц и для направления  $Z$  — частоты колебаний от 1 до 2,7 Гц.

Максимальные абсолютные значения ускорений, скоростей и смещений, а также среднеквадратические значения указанных величин сведены в приводимую ниже таблицу. При восстановлении ускорений и смещений предварительно выполнялась цифровая фильтрация записанных сигналов в частотном диапазоне от 0,5 до 20 Гц.

Для скоростей максимальная абсолютная величина компоненты  $X$  (по показаниям различных датчиков) составила 0,08 — 0,11 см/с, компоненты  $Y$  — 0,12 — 0,19 см/с, компоненты  $Z$  — 0,04 — 0,06 см/с.

В течение 27.09.03 и 01.10.03 были получены 5 записей сейсмособытий. Так, например, сильные колебания были зарегистрированы комплексом инженерно-сейсмометрических наблюдений 27.09.03 в 11:38:16 (время на часах ПК КИСН по Гринвичу); сейсмостанцией «Иркутск» 27.09.03 было зарегистрировано землетрясение класса 16 из эпицентра с координатами 49,98 с.ш., 87,9 в.д. (время в очаге по Гринвичу 11:32:26), находящегося на расстоянии 1171 км от г.Иркутска.

Все пять полученных записей в настоящее время находятся в стадии углубленной обработки.

**Безопасность энергетических сооружений**

Таблица

Дата записи 17 сентября 2003			Время записи 12:00:12			Продолжительность 14.00 сек				
№ кана- ла	№ датч.	Ориент.	Отм	№ секц.	$A_{max}$	$A_{sig}$	$V_{max}$	$V_{sig}$	$S_{max}$	$S_{sig}$
					см/с <sup>2</sup>	см/с <sup>2</sup>	см/с	см/с	см	см
01	1	поперек потока	456	2	1,592	0,412	0,109	0,028	0,010	0,003
02	1	вдоль потока	456	2	3,462	0,756	0,186	0,043	0,015	0,003
03	1	верти- кальная	456	2	1,154	0,308	0,064	0,014	0,004	0,001
<b>Отметка 456,0 секция 2</b> $V_{max} = 0,187$ см/с; $A_{max} = 3,462$ см/(с*с); $S_{max} = 0,016$ см										
04	2	поперек потока	441	2	1,338	0,358	0,085	0,025	0,009	0,002
05	2	вдоль потока	441	2	2,048	0,511	0,145	0,033	0,013	0,003
06	2	верти- кальная	441	2	0,868	0,282	0,059	0,013	0,003	0,001
<b>Отметка 441,0 секция 2</b> $V_{max} = 0,145$ см/с; $A_{max} = 2,048$ см/(с*с); $S_{max} = 0,013$ см										
09	3	поперек потока	412	2	1,398	0,378	0,100	0,025	0,006	0,003
10	3	вдоль потока	412	2	2,005	0,453	0,120	0,029	0,012	0,002
11	3	верти- кальная	412	2	1,140	0,318	0,053	0,014	0,001	0,001
12	4	поперек потока	412	2	0,806	0,247	0,083	0,022	0,003	0,002
13	4	вдоль потока	412	2	1,522	0,346	0,124	0,026	0,014	0,002
14	4	верти- кальная	412	2	0,908	0,178	0,042	0,011	0,001	0,001
<b>Отметка 412,0 секция 2</b> $V_{max} = 0,124$ см/с; $A_{max} = 2,005$ см/(с*с); $S_{max} = 0,011$ см										

*Результаты опытно-промышленной эксплуатации  
первой очереди СКДС*

На протяжении опытно-промышленной эксплуатации СКДС функционировала бесперебойно, регистрируя сейсмособытия и записывая их хронограммы во всех случаях, когда максимальные абсолютные значения скоростей составляли не менее 0,075 см/с.

Был выполнен анализ всех полученных записей и произведен ряд усовершенствований в КИСН.

Установлено новое программное обеспечение, позволяющее расширить диапазон измеряемых электрических напряжений, поступающих от датчиков, а также выполнить условие совместимости действующих и ныне выпускаемых станций ЦРС, что позволит в дальнейшем развернуть вторую очередь системы.

Установлены и переданы во временное пользование ИГЭС два опытных образца высокочувствительных акселерометров-велосиметров АВ1632 с коэффициентами преобразования по скорости 50 Вс/м и 100 Вс/м.

В ноябре 2003 г. компьютер КИСН был интегрирован в локальную вычислительную сеть ИГЭС. Установленное программное обеспечение позволяет автоматически пересылать Протоколы получаемых записей и собственно записи для углубленной обработки по заданным адресам электронной почты.

ЛИТЕРАТУРА

1. **СНиП II-7-81\***. Строительство в сейсмических районах. Строительные нормы и правила. Госстрой России. М. 2000.
2. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. Утверждены приказом Минэнерго РФ №229 от 19 июня 2003 г., введены в действие с 30 июня 2003 года.
3. **Храпков А.А., Иваков И.В., Левелев А.Г., Дашевская Е.Н., Соловцов Д.Г., Яковлев И.В.** Опытнo-промышленный образец комплекса инженерно-сейсмометрических наблюдений. //Гидротехническое строительство. №2. 1995.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОЛГО-ДОНСКОГО КАНАЛА

Сугак В.С., гл. механик (Волго-Донской ГБУВПиС), Галямина М.С.,  
Гагарина Т.И., Панова Н.М., инженеры (ОАО «НИИЭС»)

Безопасность эксплуатации и безаварийная работа гидротехнических сооружений в значительной мере определяется безотказной работой основного гидромеханического оборудования (ГМО). Контроль его технического состояния, осуществляемый проведением регулярных визуальных осмотров, инструментальных измерений и специализированных обследований, призван обеспечить оптимальные сроки ремонтов оборудования или его замены, оптимизировать состав и объёмы ремонтных работ, а также качество применяемых ремонтных материалов и оборудования.

Анализ технического состояния требует организации хранения и оперативной обработки больших объёмов информации, накапливаемой в процессе эксплуатации сооружений и ГМО. В частности, в составе гидросооружений, эксплуатируемых Волго-Донским ГБУВ-ПиС (рис. 1), насчитывается более 230 различных ворот и затворов

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
ВОЛГО-ДОНСКОГО ГБУВПиС

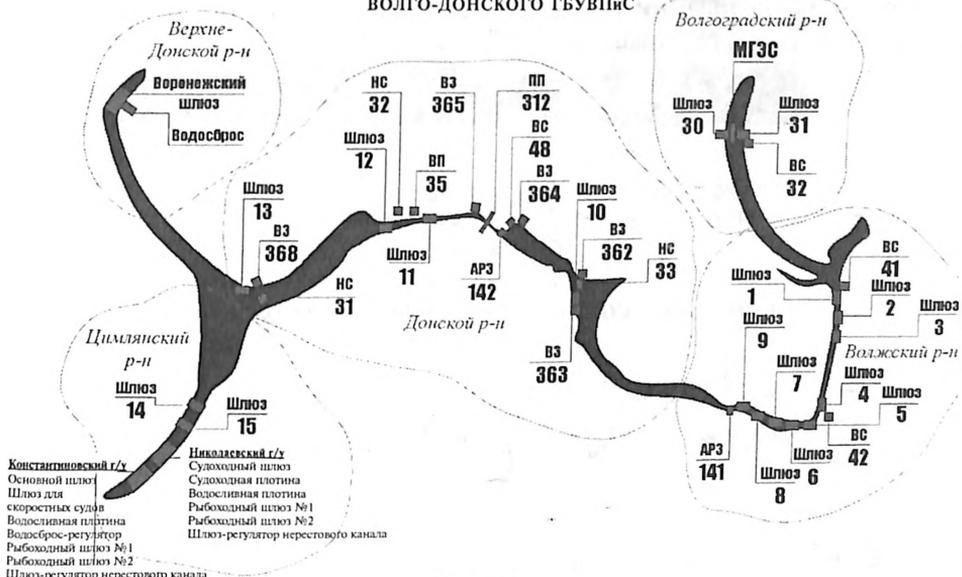


Рис. 1.

судоходного назначения с соответствующими приводными механизмами и более 100 затворов водосбросных и других сооружений. Большая часть из них изготовлена в начале 50-х годов прошлого столетия. Очевидно, что эффективность решения поставленных задач без применения компьютерных технологий ограничена.

Например, накопление эксплуатационных дефектов в металлоконструкциях ворот и затворов, проработавших 52 года, — коррозионного износа, усталостных напряжений, навигационных повреждений — вызывает необходимость оценки снижения несущей способности металлоконструкций и систематизации результатов осмотров и обследований. Действующие «Методические указания по определению технического состояния металлоконструкций ворот и затворов СГТС» (МУ 050.025–2001) позволяют оценивать фактическое состояние металлоконструкций, но требуют проведения большого числа измерений и расчетов.

На базе программного комплекса «Resource» (рис.2) отрабатывается система компьютерного мониторинга технического состояния гидромеханического оборудования «Resource-ГМО». В базе данных (БД) Системы хранятся практически все данные по наблюдениям и исследованиям ГМО. В Системе ведётся учёт проведенных обследований и ремонтов, осуществляется планирование обследований и ремонтов, фиксируются результаты формализованного (компьютерного) и экспертного анализа состояния объектов ГМО. Состав обследований и ремонтов, формы ведомостей и графиков согласованы с требованиями ведомственных нормативов.<sup>1</sup>



Рис. 2

<sup>1</sup>Инструкция по наблюдениям и исследованиям на судоходных гидротехнических сооружениях. Часть II. Механическое оборудование гидротехнических сооружений; Положение о плано-предупредительных ремонтах СГТС

Шл.4. Двустворчатые ворота НГ. Левая створка. Вид с безнапорной стороны

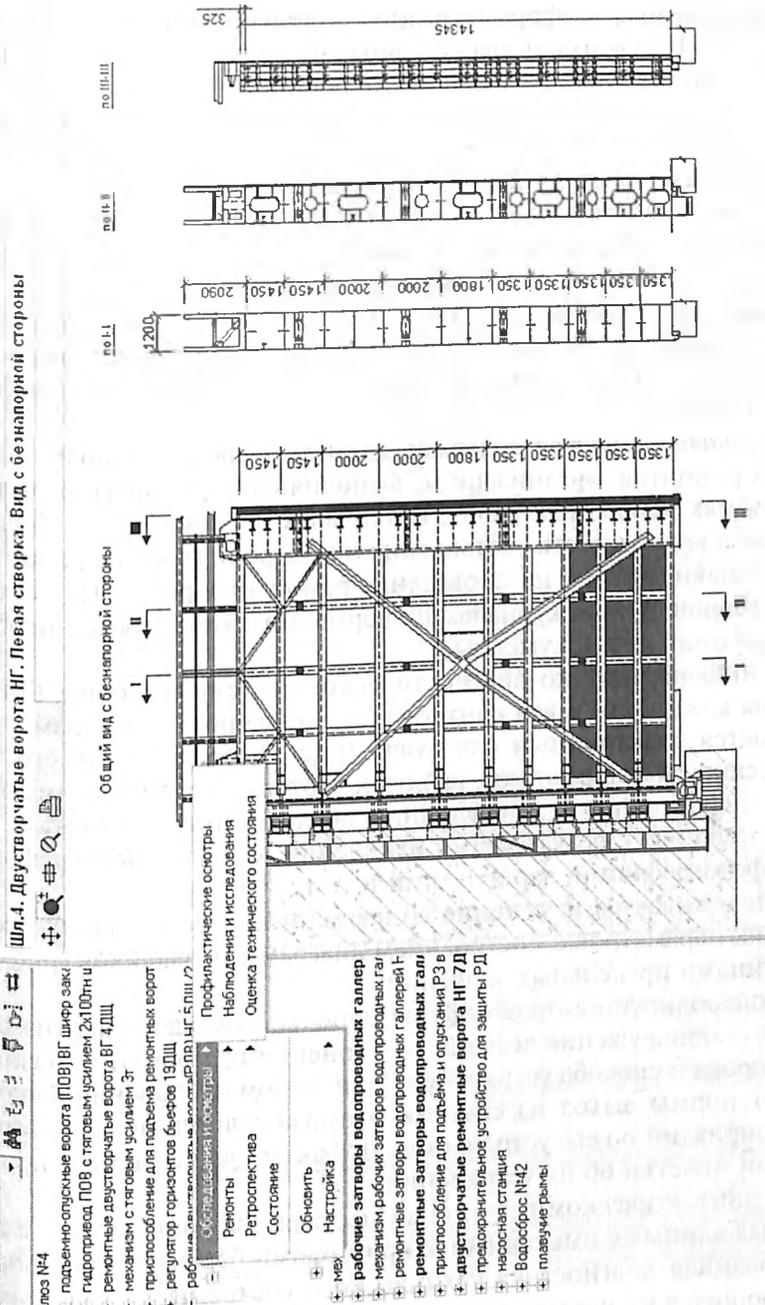


Рис. 3

База данных информационно — диагностической системы «Resource-ГМО» имеет два основных раздела — *Журналы обследований* и *Журналы ремонтов*, а также обширный справочный материал — проектные чертежи, технические характеристики и другие параметры ГМО, которые необходимы при работах по его техническому обслуживанию и оценки состояния.

*Журналы обследований* содержат сведения о том, кем, когда и какие виды обследований проводились, результаты визуальных осмотров и инструментальных измерений (текстовые записи, зарисовки дефектов, фото). Предусмотрена возможность планирования графика и состава обследований. На основании имеющейся в журналах информации изготавливаются ведомости дефектов, акты обследований, отчеты и т.д.

*Журналы ремонтов* содержат данные о сроках выполнения и видах ремонтов, организациях, выполнявших ремонты, о составе и объемах ремонтных работ, материалах и технологиях. Предусмотрена возможность составления и контроля графика ремонтов, подготовки задания на проведение ремонтных работ. На основании имеющейся в журналах информации формируются необходимые отчетные документы.

В информационно-диагностической системе «Resource-ГМО»: для каждого объекта контроля (затвор, ворота, механизм и др.) создается электронный формуляр (рис. 3), содержащий его технические характеристики, включая чертежи и схемы, и имеющуюся информацию о проведенных обследованиях, ремонтах, реконструкциях с результатами измерений, выявленными дефектами, фотографиями, зарисовками и т. п.;

отслеживается изменение во времени контролируемых технических параметров с построением диаграмм и графиков (рис. 4) с границами предельных значений;

контролируется прохождение цепочки обследование (измерение) — обнаружение дефекта (отклонения от нормы) — назначение срока и способа устранения. При любом отклонении параметра от нормы выход из системы возможен лишь после указания мероприятий по его устранению. Дефекты «закрываются» при наличии отметки об их устранении;

в автоматическом режиме осуществляется сопоставление вносимых данных с имеющимися критериями безопасности (формализованная диагностика технического состояния). При этом на имеющихся в Системе чертежах объект окрашивается в зависимости от его состояния (рис. 5);

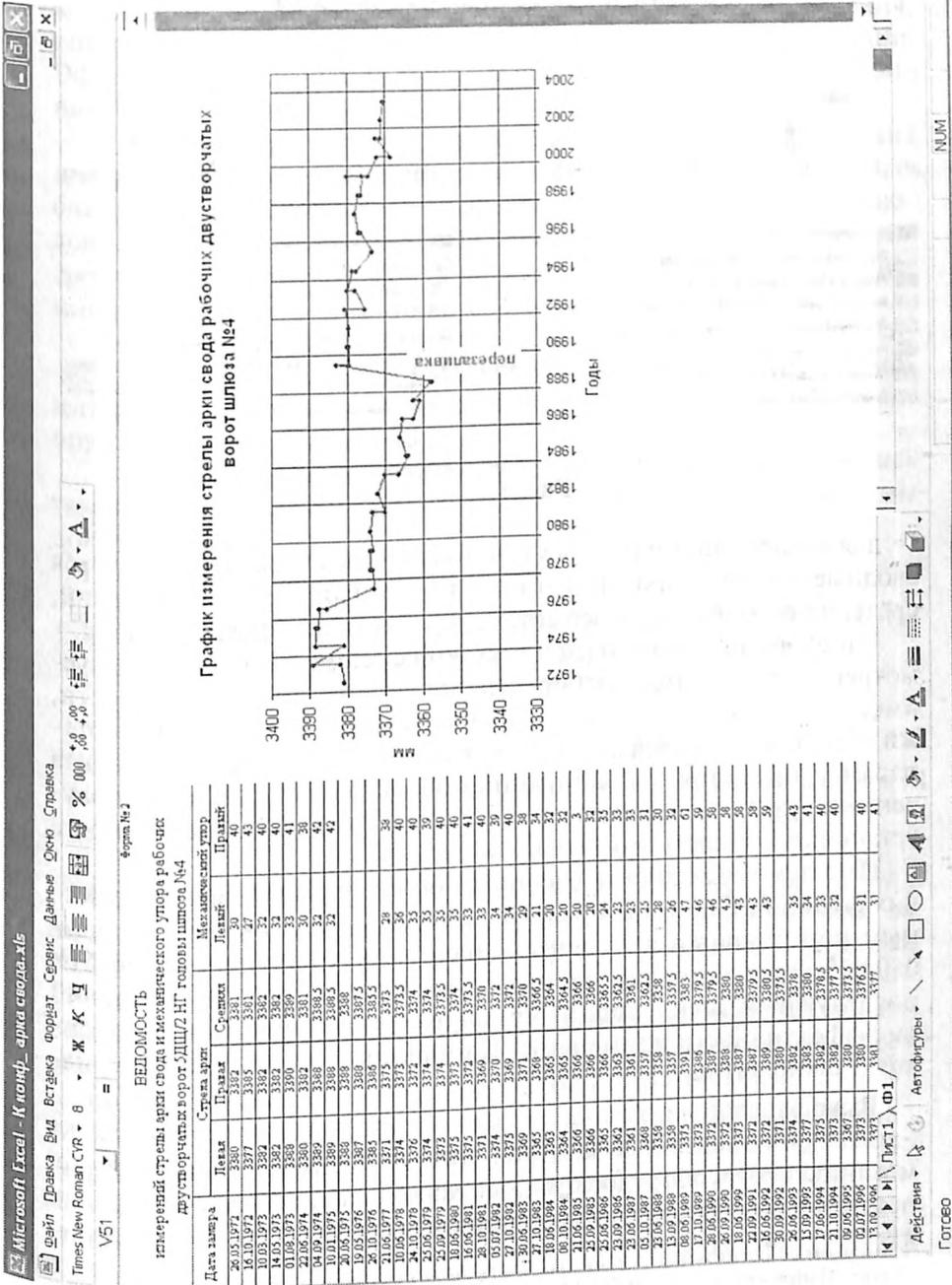


Рис. 4

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ШЛЮЗА №4  
ПЛАН

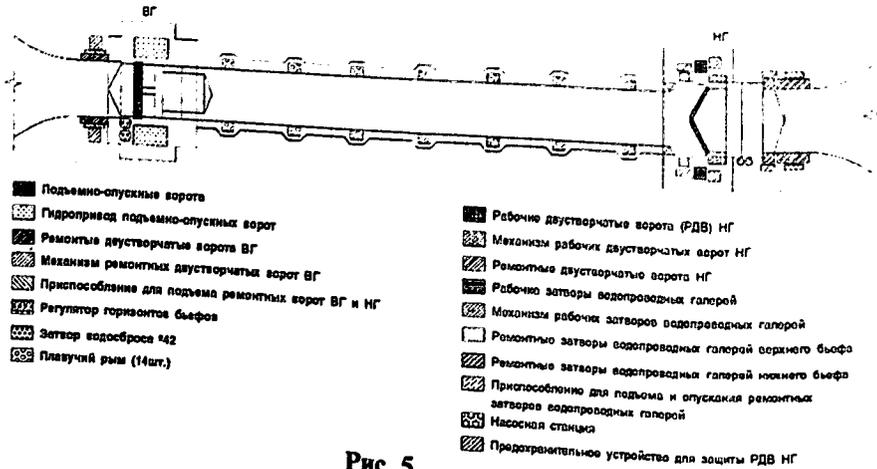


Рис. 5

для квартальных и годовых отчетов автоматически формируются сводные таблицы произведенных за отчетный период измерений, сведения о выявленных дефектах и производственных ремонтах.

В информационно-диагностической системе полностью предусмотрен значительный набор сервисных функций. В частности, имеется возможность: нанесения на имеющиеся в Системе чертежи обнаруженных дефектов; проведения сравнительного анализа параметров состояния однотипных объектов и оформления полученных результатов в виде отчёта; отслеживания изменений места установки конкретного затвора и т.п.

Имеется возможность расширения и адаптации диагностических функций Системы к разрабатываемым методикам и конкретным нормативным документам, например к рекомендуемой МУ 050.025–2001 методике оценки возможности, сроков и условий последующей эксплуатации металлоконструкций<sup>2</sup>, а также оценки эффективности применения тех или иных ремонтных материалов и технологий.

### Выводы

1. Эксплуатационный контроль технического состояния гидро-механического оборудования, обеспечивающий своевременное принятие мер для предотвращения неисправностей и возникно-

<sup>2</sup>Измеряемые остаточные толщины, прогибы и просадки лишь косвенно характеризуют напряженно-деформированное состояние металлоконструкций, а прочностные расчёты по данным измерений реальны только для ограниченной части конструкций. Наиболее перспективно — прямое измерение напряжений в характерных узлах конструкций в нагруженных циклах.

вения аварийных ситуаций, требует своевременного получения, оперативной обработки и анализа огромного объема информации. Эффективность решения такой задачи требует применения компьютерных технологий.

2. На базе программного комплекса «Resource» разработана информационно — диагностическая система «Resource-ГМО», в базе данных которой хранятся практически все данные по наблюдениям и исследованиям ГМО, необходимые для определения сроков (графика), объемов и оптимальной технологии проведения ремонтных работ, а также оценки их эффективности.

3. Функциональные возможности информационно-диагностической системы «Resource-ГМО» обеспечивают эффективный мониторинг технического обслуживания ГМО гидротехнических сооружений.

4. Предусмотрена возможность расширения и адаптации Системы к разрабатываемым методикам и конкретным нормативным документам.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОМ ВОДОВОДЕ ЗАГОРСКОЙ ГАЭС ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ МЕТОДОМ**

*Горбов В.А., инженер (ОАО «НИИЭС»),  
Черненко В.Н., инженер (Загорская ГАЭС), Зиборов В.Н.,  
Войтенко В.М., инженеры (ООО «СВЗ», г. Тула)*

Состояние открыто расположенных высоконапорных сталежелезобетонных водоводов Загорской ГАЭС, выполненных на склоне и имеющих протяженность 723 м, при величине перепада 113 м, требует постоянного контроля. Возникновение и развитие дефектов подводящих высоконапорных водоводов может привести к аварийным техническим последствиям. Конструктивное решение сталежелезобетонных водоводов принято таким, что растягивающие усилия в поперечных сечениях распределены пропорционально между внутренней стальной оболочкой и кольцевой арматурой (рис. 1). Железобетонная обделка запроектирована с допущением возникновения трещин в бетоне. Анализ результатов обследования состояния сталежелезобетонного напорного турбинного водовода № 1, проведенного специалистами ОАО «НИИЭС» с участием представителей Загорской ГАЭС и

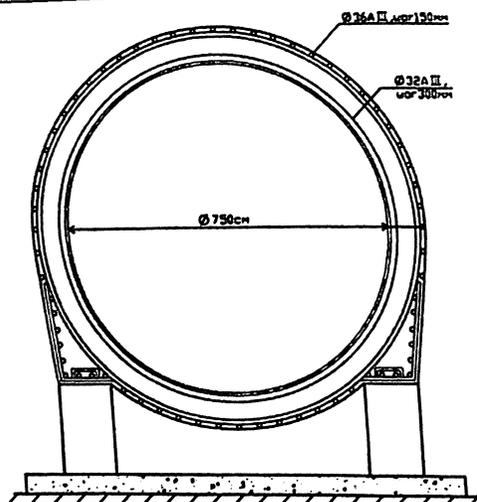


Рис. 1. Сечение первой секции первого напорного водовода

«Мосэнергоспецремонта», показывает, что на отдельных участках водовода имеются разрушения защитного слоя бетона на глубину 8 – 10 см с обнажением наружного пояса рабочей арматуры, имеющей следы коррозии. Разрушение бетона защитного слоя отмечено на участках размером 2 x 2 м в верхней трети водовода. На наружной поверхности водовода, в нижней части, обнаружены сталактиты, что свидетельствует о выщелачивании бетона и наличии протечек.

С целью определения области нарушения герметичности сварных швов и дефектов во внутренней стальной облицовке, вызывающей протечки в бетонной обделке, были проведены опытно-методические исследования на первой нитке напорного турбинного водовода. Исследования проводились для области, расположенной в нижней части первой секции водовода, ширина которой в развернутом виде составляет 5,6 м, при общей развертке поперечного сечения водовода 25,6 м. Работы проводились электромагнитным методом в модификации развернутой каротажной системы с использованием аппаратуры двойного переменного-фазового возбуждения поля.

Для возбуждения электромагнитного поля в массиве водовода один электрод генераторной группы (ГГ) помещался внутрь исследуемого водовода через верхний бассейн, второй электрод подсоединялся к стальной облицовке водовода. Схема возбуждения поля в исследуемом водоводе приведена на рис. 3.

Измерения параметров поля проводились в линейной части возбуждаемого электромагнитного поля, т.е.  $L_{\text{изм}} \ll \Delta B$ .

Участок водовода, где проводились измерения, показан на рис. 3 пунктиром.

Первые наблюдения выполнены по трем профилям, расположенным в нижней части водовода параллельно друг другу вдоль его оси (рис. 2).

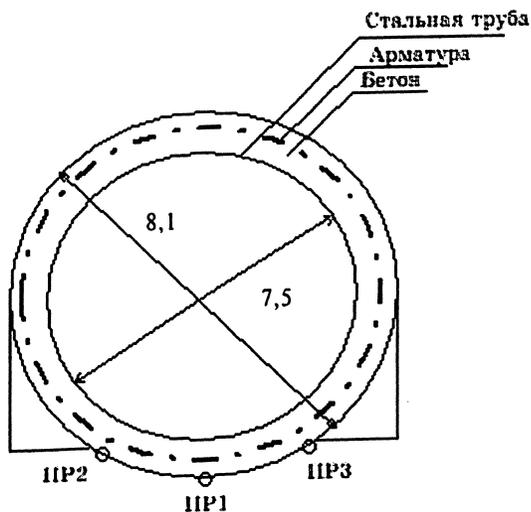


Рис. 2. Поперечный разрез водовода с обозначением профилей

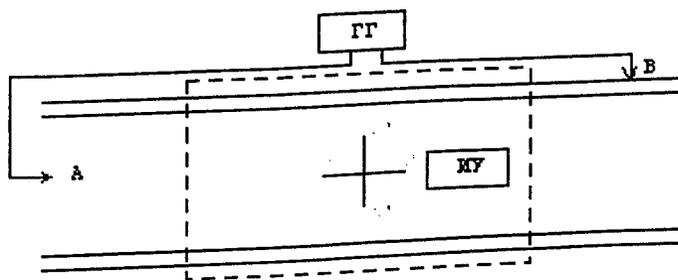


Рис. 3. Продольный разрез водовода со схемой геофизических измерений

Шаг измерения вдоль профиля равнялся 1 м, т.е. сеть наблюдения составила для бетонной обделки 1,0 x 2,8 м, для стальной облицовки — 1,0 x 2,6 м.

По измеренным параметрам электромагнитного поля построены карты:

$E_{xy}$  — тангенциальная составляющая напряженности электрического поля, характеризующая состояние бетонной обделки непосредственно на ее поверхности;

$H_z$  — нормальная составляющая напряженности магнитного поля, характеризующая внутреннее состояние бетонной обделки;

$1/z = H_{xy}/E_{xy}$  — аналог проводимости среды при переменном токе, характеризующий общую проводимость всей толщи водовода в точке измерения, что следует интерпретировать как непосредственное нарушение целостности стальной трубы.

Результаты измерений и обработки параметров электромагнитного поля представлены на рисунках 4 и 5.

По длине исследованной секции водовода выполнены измерения при возбужденном электромагнитном поле. Они включают в себя возбужденное поле, поле помех и естественное поле водовода. Учитывая режим измерений, результаты представляют собой генерализованную картину состояния водовода. На рис. 4 выделены наиболее значимые нарушения целостности водовода.

На карте параметра  $E_{xy}$ , расположенной в верхней части рисунка, отмечаются места повышенной обводненности бетонной обделки водовода. Интенсивность аномалий соответствует степени водонасыщенности бетона. Наиболее значимые нарушения отмечаются справа по ходу водовода в районе 8-метра, в нижней части водовода в районе 14-метра, слева по ходу водовода — на расстоянии 31,5 метра.

На карте параметра  $H_z$ , расположенной в средней части рисунка, нарушения отмечаются справа по ходу водовода в области 0—1,5 метра, справа и в нижней части водовода — в районе 6,5—9 метров, в нижней части водовода — в районе 13—15 метров и в районе 27—28 метров и справа по ходу водовода — в районе 39,5—40 метров.

На карте параметра  $1/z$  (соотносящегося с нарушениями стальной облицовки), расположенной в нижней части рисунка, аномалии отмечаются в районе нижней части секции 0,5—1,5 метра, справа по ходу водовода — в районе 6—7,5 метра и 8,5—9 метров и по всему водоводу в районе 33,5—40 метров с увеличением интенсивности вниз по водоводу.

На рис. 5 представлено распределение параметров электромагнитного поля за вычетом естественного поля и поля помех. Данный рисунок соответствует более детальной картине состояния водовода.

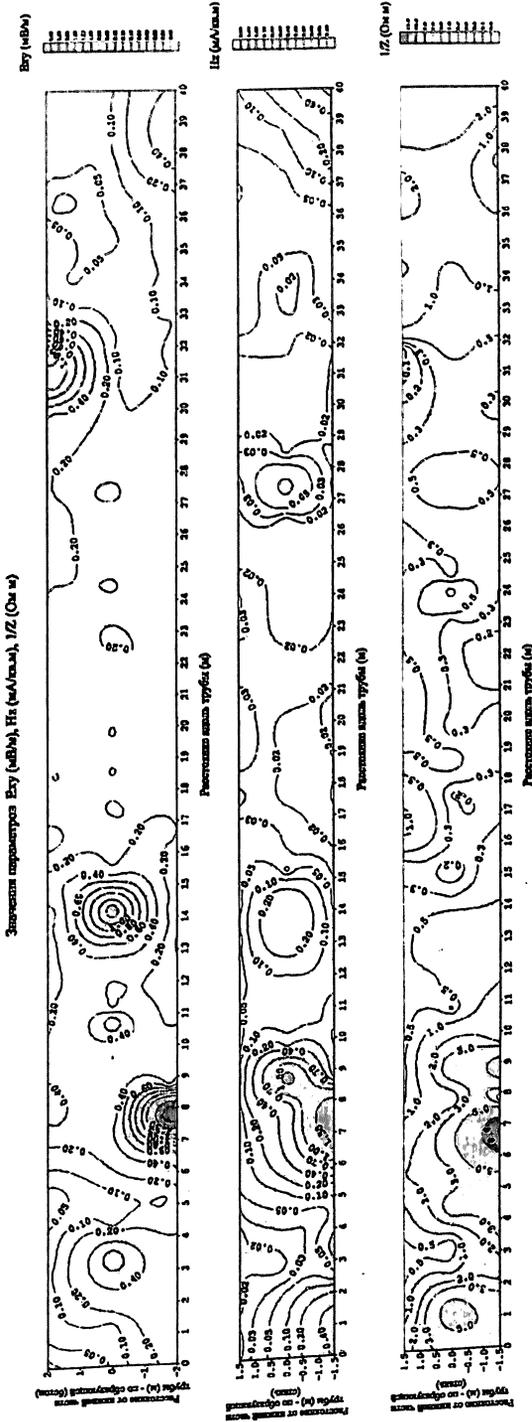


Рис. 4. Карта распределения параметров электромагнитного поля на 1 секции 1 водовода ЗГАЭС

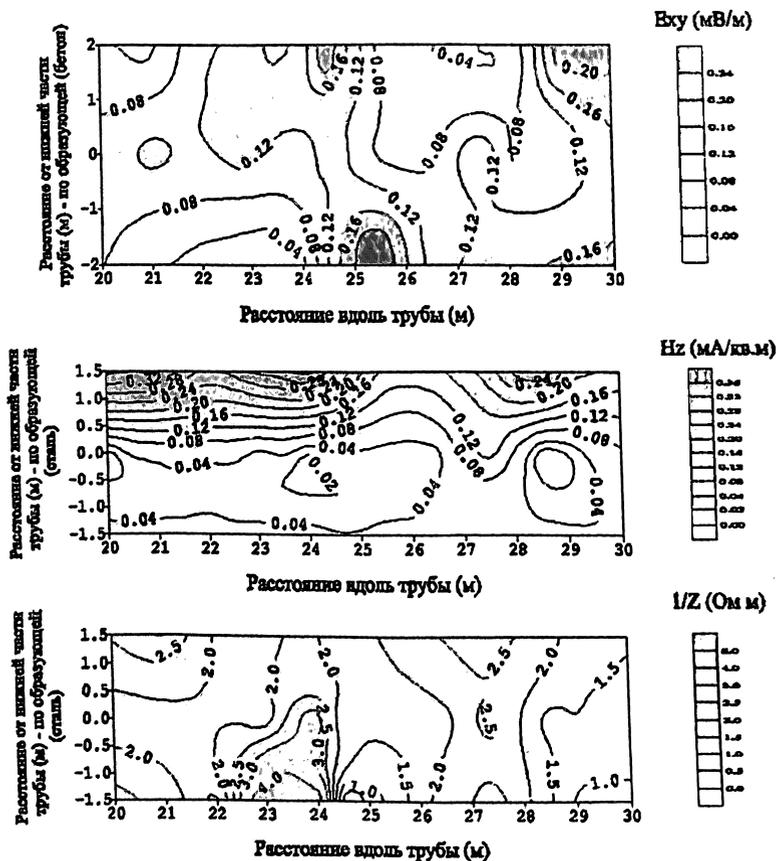


Рис. 5.

В верхней части рисунка расположена карта параметра  $E_{xy}$ . Она соответствует обводненности поверхности бетонной обделки. На карте аномалия отмечается в районе 24,5 – 25,5 метра. В соответствии с конструкцией водовода в данном месте находится стык обечаек. Следовательно, следует предположить, что в данном месте по стыку существует утечка. По увеличенным значениям параметра аномалия отмечается в районе 29,5 – 30 метров. В данном месте также находится стык обечаек. Аналогично следует принять, что здесь также существует утечка.

В средней части рисунка расположена карта параметра  $H_z$ . Она соответствует состоянию части бетонной обделки, прилегающей к стальной облицовке. На данной карте увеличение параметра  $H_z$  отмечается на всем протяжении водовода слева по ходу трубы. Можно предположить, что из-за расположенных здесь кабельных ли-

ний в арматуре железобетонной обделки наводятся токи, способствующие усилению процесса коррозии арматуры и разрушению бетонной обделки. Внешним признаком этого могут служить обширные разрушения бетонной обделки.

В нижней части рисунка расположена карта параметра  $1/z$  — аналога проводимости исследуемой среды. Данная карта непосредственно характеризует нарушения в стальной облицовке. На карте аномалии с повышенными значениями параметра отмечаются справа и слева по ходу трубы в районе 20 — 21-го метра, справа по ходу трубы в районе 23 — 24-го метра и 27 — 27,5 метров.

Результаты проведенных опытно-методических исследований показали возможность применения электромагнитного метода для определения интенсивности зон протечек на наружной поверхности сталежелезобетонного напорного водовода и нарушений в бетонной обделке.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЗАТВОРОВ ВОДОСЛИВНОЙ ПЛОТИНЫ ВОЛЖСКОЙ (ВОЛГОГРАДСКОЙ) ГЭС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ**

*Мажбиц Г.Л., кандидат техн. наук (ОАО «НИИЭС»)*

Рабочие затворы водосливных плотин гидроэлектростанций, несмотря на много общего, различны по своим параметрам, конструкции и условиям эксплуатации. Это объясняется как особенностями принятых проектных решений и природными факторами, так и временем проектирования и изготовления затворов. Последнее связано не только с развитием научно-технического прогресса, но и с изменением проектных нормативов.

Параметры, определяющие эксплуатационную надежность и долговечность затворов, включая их остаточный ресурс, зависят от различных факторов. При этом сами затворы являются продукцией малосерийного или индивидуального производства. Поэтому традиционные статистические методы, применяемые при оценке таких параметров для изделий массового производства, работающих в одинаковых условиях, для затворов ГЭС либо ненадежны, либо вообще непригодны. Вместо применения для этих целей каких-либо интегральных оценок требуются иные подходы, учитывающие индивидуальные особенности затворов и условий их ра-

боты. Оценка эксплуатационной надежности и остаточного ресурса в данном случае может основываться на всестороннем изучении состояния затворов, уровня напряжений в деталях конструкции и характеристик прочностных свойств металла. В соответствии с действующими нормативными документами под понятия остаточный ресурс попадают как исправное, так и работоспособное состояние. В первом случае коэффициент надежности не должен быть меньше нормативной величины, в данном случае 1,25, а во втором — меньше 1, то есть понятие работоспособности является более общим по сравнению с понятием исправности.

Рабочие затворы водосливной плотины крупнейшей в Европе Волжской (Волгоградской) гидроэлектростанции (рис. 1) — плоские, сварные, скользящие — имеют конструкцию, состоящую из следующих элементов: трех главных ригелей со сплошными стенками; обшивки с напорной стороны, подкрепленной выносной балочной клеткой продольного набора; пяти решетчатых диафрагм; двух опорно-концевых стоек сплошного сечения; раскосов в плоскости низовых поясов-ригелей, образующих продольную ферму жесткости. Расчетный пролет затвора 20,8 м, нагруженный пролет 20,15 м, гидростатический напор при НПУ — 9,0 м, вододерживающая высота обшивки 11 м, количество — 26 штук. В металлоконструкциях затвора применена сталь М16С для основных несущих элементов ( $\sigma_r = 2300 \text{ кг/см}^2$ ) и Ст3 для второстепенных нерасчетных элементов ( $\sigma_r = 2400 \text{ кг/см}^2$ ).

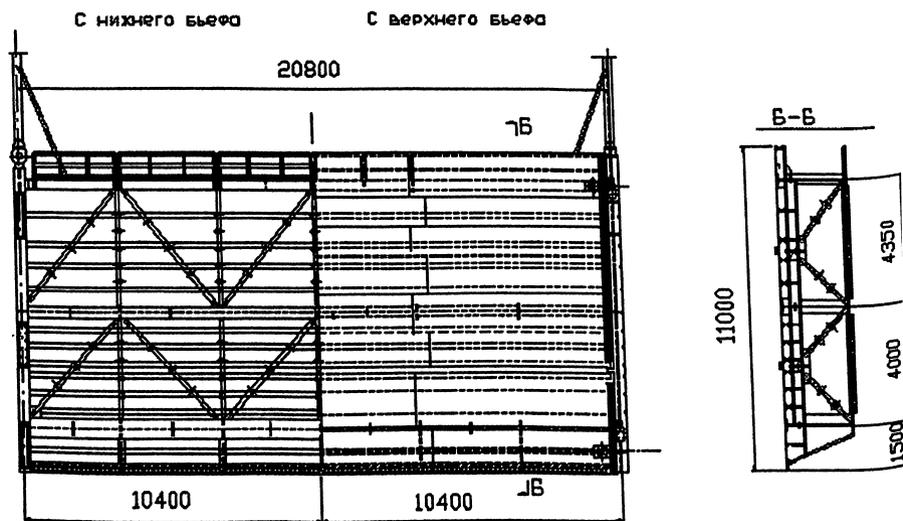


Рис. 1. Общий вид и разрез затвора

Затвор рассчитывался на прочность в конце 50-х годов как пространственная система по методике профессора В.И. Петрашеня. По этой методике конструкция затвора условно расчленяется на отдельные плоские системы с учётом взаимодействия всех основных элементов и с применением специальных редуцированных коэффициентов, учитывающих роль обшивки и стрингеров в общей прочности затвора. По нормативам, действовавшим при проектировании затворов, расчеты выполнялись для следующих трех случаев нагрузки:

основные условия — напор на затвор 9,3 м с учётом нагона, волновая нагрузка отсутствует, допустимое напряжение растяжения (сжатия) 1600 кг/см<sup>2</sup>;

особые условия — напор 9,3 м, высота волны 2,3 м, допустимое напряжение 1800 кг/см<sup>2</sup>;

катастрофические условия — напор 10 м, высота волны 4 м, допустимое напряжение равно расчетному сопротивлению ( $R_s$ ) 2100 кг/см<sup>2</sup>.

Наиболее нагруженным элементом затвора является нижний ригель. В 1960-61 гг. проводились испытания затвора при напорах 6,3 и 8,9 м с целью изучения действительной работы конструкции и соответствия ее проекту, для чего определялись напряжения и прогибы в основных несущих элементах конструкции затвора под действием гидростатической нагрузки. В целом подтвердились расчетные предположения, но измеренные напряжения были на 10 – 12 % меньше расчетных.

Систематические многолетние исследования данных затворов выполнялись Волгоградским филиалом ОАО «НИИЭС». Основной целью этих исследований была оценка напряженно-деформированного состояния затворов при ледовых воздействиях. По результатам этой работы оказалось возможным отказаться от майны при условии образования разлома льда вдоль фронта плотины. Такой разлом, смягчающий повышение напряжений в верхних растянутых поясах затвора, может образовываться как за счет зимней предварительной сработки водохранилища, так и колебаний уровня воды вследствие суточного и недельного регулирования мощности. По разработанным оценкам суточные колебания уровня воды должны составлять не менее 15 – 25 см в зависимости от толщины льда.

В 2001 – 2002 гг. в связи с выработкой затворами проектного ресурса ОАО «НИИЭС» провел углубленное инструментальное обследование затворов.

*Оценка свойств металла.* По четырем контрольным затворам с помощью прибора ИКНМ-2ФП были определены зоны концентрации напряжений методом магнитной памяти металла. С помощью электромагнитного индикатора трещин МИТ-1М на линиях концентрации напряжений обнаружены поверхностные трещины. Установлено наличие поверхностных трещин в зонах термического влияния сварных швов стыковых и угловых соединений. Проведены контроль твердости и металлографические исследования образцов, вырезанных из нижнего пояса одного из затворов. С помощью прибора «Спектроскан» установлено полное соответствие химического состава и микроструктуры образцов марке стали М16С. Видимых структурных изменений, характерных для наклепанного металла, не обнаружено. Твердость по методу Бринеля находится в пределах нормы.

Общее состояние стали затворов оценено как предельное, предшествующее разрушению. Снижение прочностных свойств стали, связанное с длительной эксплуатацией в условиях, характерных для данных затворов, интегрально оценено как среднее уменьшение расчетного сопротивления стали  $R_s$  на величину 4 кг/см<sup>2</sup> в год.

*Прогибы ригелей.* Измерение прогибов ригелей у всех затворов производилось под гидростатической нагрузкой (полный прогиб) и без нагрузки в кондукторах на ремонтной площадке (остаточный прогиб). Упругий прогиб определялся как разность полного и остаточного прогибов. Оценка прогибов под нагрузкой и без нагрузки входит в состав эксплуатационного контроля состояния металлоконструкций затворов в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Небольшие первоначальные прогибы допускаются, в данном случае, только в сторону верхнего бьефа.

Измерение прогибов выполняли методом «натянутой струны» и металлической линейки с ценой деления 1 мм при уровнях воды, близких к НПУ и отсутствию ветра, т.е. при напорах 9 м и несколько меньших. Максимальная величина хорды прогиба (стрелы прогиба) теоретически должна реализоваться по оси затворов, однако в ходе исследований было выявлено, что в отдельных случаях максимум прогиба смещен относительно оси.

При напорах около 9 м упругие прогибы верхнего, среднего и нижнего ригелей близки к проектным расчетным значениям (соответственно, 10,7; 19,1 и 25,5 мм). Полные прогибы всех ригелей при этих условиях превышают допускаемую величину

1/600 пролета — около 33,5 мм — за счет сформировавшихся остаточных (пластических) прогибов. Последние, естественно, проектом не предусматривались. Так, полные прогибы наиболее нагруженного нижнего ригеля у 20 затворов из 26 (77% случаев) превысили допустимые и составили от 40 до 65 мм (в среднем 46 мм). Из остальных 6 затворов — 4 были усилены ранее. Само наличие остаточных прогибов может свидетельствовать о наличии не предусмотренных проектом неупругих деформаций, а они, в свою очередь, скорее всего вызваны неполным учетом действующих нагрузок. Последствия образования остаточных прогибов могут отрицательно сказываться как на прочностных качествах металла затворов, так и на деформативном состоянии затворов, не учтённом в конструкции уплотнений, тележек и т.д.

В последние годы при схожих внешних условиях (температуре, напоре, отсутствии льда) заметного роста прогибов не наблюдается

*Коррозионный износ* затворов оценивался по результатам ультразвуковой толщинометрии (УЗТМ) с помощью прибора ВЗЛЕТ УТ с дополнительной поправкой на очаговую язвенную коррозию. При этом имелась возможность сравнить полученные результаты с исследованиями института Мосгидросталь, выполненными в 1992 г.

Для шести затворов, в 50-ти точках на каждом, измерялась толщина ригелей, диафрагм и обшивки. Толщина одних и тех же элементов у обследованных затворов оказалась достаточно близкой, что свидетельствует об одинаковых условиях эксплуатации и одинаковой скорости коррозии металлов. Толщина металла по отношению к номинальной находится, в основном, в диапазоне  $0,3 + 0,2$  мм, в отдельных случаях — до 0,9 мм. То есть относительное уменьшение толщины металла в зависимости от первоначальной величины не превысило 5% при средней величине около 2%, в отдельных случаях уменьшение толщины обшивки достигало 8 — 9 %. Горизонтальные элементы оказались больше подвержены коррозии, чем вертикальные.

Показательно, что в отдельных случаях измеренные толщины оказались больше номинальных. Это свидетельствует о том, что при изготовлении затворов был принят либо дополнительный запас на коррозию без указания в соответствующей документации, либо фактическая толщина прокатного металла была больше проектной.

В целом следует отметить малый коррозионный износ металла затворов, что свидетельствует о своевременном выполнении антикоррозионных покрытий. С учетом дополнительной поправки

на очаговую язвенную коррозию получается, что скорость коррозии за последние 10 лет не превышает 0,05 мм/год.

Оценка остаточного ресурса на основании полученных результатов может быть произведена лишь ориентировочно. Для точных расчетов необходимо располагать гораздо большим объемом сведений. И все же затворы Волжской ГЭС в этом смысле находятся в выигрышном положении, так как по ним имеются материалы нескольких циклов натуральных наблюдений.

Для оценки состояния затворов были выполнены расчеты при следующих основных допущениях:

снижение прочностных характеристик стали М16С во времени учитывалось линейно —  $R_s = 2100 - 4T$  (кг/см<sup>2</sup>), где  $T$  — число лет эксплуатации;

интенсивность коррозионного износа принималась постоянной и равной 0,05 мм/год;

первоначальные толщины элементов принимались по проекту.

Поверочные расчеты отличались от проектных не только использованием метода конечных элементов (МКЭ) и введением в расчеты переменных величин толщины элементов и прочности стали. Наиболее существенным оказалось изменение расчетных нагрузок на затворы в соответствии с современными нормами. По современным нормам затворы оказались более нагруженными, нежели это предусматривалось в проекте, главным образом, из-за неучета в проекте нагрузки от ветровых волн при основном случае нагрузок. Фактически получается, что по действующим нагрузкам основной и особый случаи соответствуют по современным нормативам особому и катастрофическому случаям по проекту. При проведении сравнительных прочностных расчетов выяснилось что наибольшие напряжения в элементах затвора, рассчитанные по МКЭ и по методу В.И. Петрашеня, различались незначительно, чего, впрочем, и следовало ожидать, учитывая приведенное выше сравнение результатов расчетов по методу В.И. Петрашеня и экспериментов 1960-61 гг.

Расчет остаточного ресурса выполняли по известным зависимостям предельных состояний, то есть путем сопоставления действующих напряжений  $\sigma$  с  $R_s$ . В отличие от обычных расчетов коэффициент запаса (надежности)  $k = R_s/\sigma$  также меняется во времени. Результаты расчетов для наиболее нагруженного и самого тонкостенного элементов — нижнего ригеля и обшивки — представлены на рис. 2 в виде изменения во времени коэффициентов запаса. Для сопоставления показано уменьшение коэффициентов

запаса, рассчитанных как по современным нормам учета действующих нагрузок, так и по нормам конца 50-х годов.

Несмотря на некоторые упрощения при расчетах, их резуль-

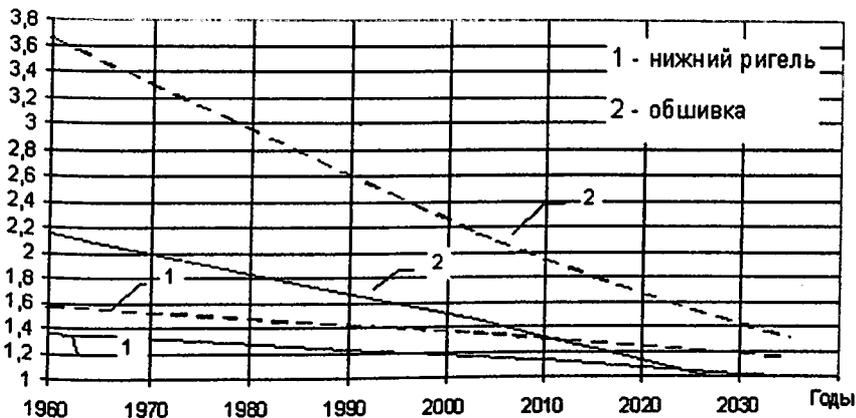


Рис. 2. Изменение во времени коэффициентов надежности нижнего ригеля (1) и обшивки (2) затвора.

Сплошная линия — по современным нормативам, пунктир — по нормативам, действующим при проектировании затворов.

таты достаточно наглядны. Так, примерно до 2015 г., надежность конструкции затворов определяется по надежности нижнего ригеля, а потом — по надежности обшивки. К 1990 году коэффициент запаса уменьшился от начального сверхнормативного значения до нормативной величины 1,25 (по нижнему ригелю), хотя по остальным элементам, включая обшивку, еще имелся сверхнормативный запас надежности. В настоящее время коэффициент запаса составляет около 1,17. К 2025 году коэффициент запаса уменьшится до 1, и затвор перестанет быть работоспособным.

Выполненные исследования позволили разработать очередность замены затворов, для чего все 26 затворов разбиты на три группы по очередности замены, причем порядок замены внутри каждой группы существенного значения не имеет: первая группа — 5 затворов, вторая — 15 затворов, третья — 6 затворов.

## ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЯДА ВОДОЁМОВ г. МОСКВЫ

*Румянцев И.С., Каганов Г.М., доктора техн. наук, Волков В.И.,  
Черных О.Н., кандидаты техн. наук (МГУ Природообустройства),  
Алтунин В.И., кандидат техн. наук (МАДИ ТУ)*

Проблемы надёжности и безопасности гидротехнических комплексов, к которым относятся такие важные и сложные для крупного промышленного мегаполиса структуры, как городские водоёмы, требуют к себе повышенного внимания и совершенствования систем их эксплуатации, обслуживания и управления.

В правительстве Москвы совместно с Департаментом природопользования и охраны окружающей среды столицы разработана Программа по восстановлению малых рек и русловых водоёмов города, кроме того в настоящее время разрабатывается новый Водный комплекс РФ. Начиная с 90-х годов прошлого века для сохранения природного достояния столицы по каждой речке и водоёму в НИИ-Пи Генплана стали разрабатывать концепции их благоустройства и использования. Детальными планами очистки рек занимаются в настоящее время организации «Эколандшафт», «Мосводоканал НИИпроект» и другие. Целевые комплексные программы по оздоровлению, благоустройству и охране рек и водоёмов есть практически во всех административных округах (АО) города. Они представляют целый комплекс мероприятий, проводимых для экологической реабилитации городских водных объектов. Программы рассчитаны на разные периоды: на 2003 – 2005 годы, до 2007 г. и долгосрочная программа до 2010 г. Выполнение данных программ должно кардинально изменить водный ландшафт и максимально приблизить водоёмы и малые реки города к первоначальному виду.

Программа реабилитации водных объектов предусматривает возвращение к жизни 80–85% рек, ручьёв и прудов столицы. Наиболее удачная и сбалансированная программа действует сейчас в Северо-Восточном АО по р. Яузе. На данный момент в порядок приведено 18 километров Яузы: русло реки почистили, дно углубили, а берега, страдавшие от эрозии, укрепили с помощью габионов. После окончания работ по обустройству прилегающей территории в 2005 г. будут начаты реабилитационные работы на её притоках — Чермянке, Ичке и Лихоборке. На этот год намечены работы и на речке Городня, протекающей на юге Москвы, русло

которой зарегулировано такими крупными водоёмами, как Верхний и Нижний Царицынские пруды, Борисовский пруд (ЮВАО). Утверждены границы водоохраных зон ряда рек города — Городни, Язуы, Котловки, Раменки, Очаковки, Клязьмы и др.

По данным экологического мультимедийного информационно-образовательного центра «ЭкоМосква», открытого в 2004 г., в Москве насчитывается 134 реки и крупных ручьёв, 300 озёр и прудов (по другим источникам соответственно 140 и 438). Из них около 90 водотоков забраны в коллекторы (полностью или частично в районах застроек и промышленных зон), а ряд небольших ручьёв и водоёмов засыпаны. Все эти водные объекты, за небольшим исключением, находятся в тяжёлом экологическом и техническом состоянии: грязная вода, скудность флоры и фауны, сильная степень загрязнения нефтепродуктами и вредными стоками, свалки на берегах водоёмов, разрушенные элементы гидротехнических сооружений, отсутствующее или деформированное берегоукрепление.

Если в 2003 г. купаться по разрешению Госсанэпиднадзора Москвы можно было в 11 зонах «водного» отдыха на естественных и искусственных водоёмах города, то летом 2004 года только в 5 из них можно было купаться без риска для здоровья. Это — Большой Садовый (академический) пруд, озеро Белое, Большой городской пруд, озёра Чёрное и Школьное в Зеленограде. Эпидемиологической службой было запрещено купание более чем в 50 водоёмах столицы, во всех без исключения малых реках Москвы и на всём протяжении Москвы-реки в черте города и пригородах столицы в юго-восточном направлении. Среди них — популярные у москвичей Новодевичьи, Патриаршие и Чистые пруды, Борисовские пруды, озеро Битца, водоёмы парков «Тропарёво» и «Покровское-Стрешнево». Программа восстановления малых рек и водоёмов, рассчитанная до 2010 г., на выполнение которой предполагается направить 16,2 миллиарда рублей, в том числе более 10 миллиардов из городского бюджета, предусматривает и существенное увеличение количества водоёмов, в которых можно будет купаться. В соответствии с Программой реабилитации и восстановления городских водоёмов, принятой в мэрии, около 10 прудов уже восстановлены, 15 находятся в стадии реконструкции.

В Московском Государственном Университете Природообустройства (МГУП) на протяжении ряда лет ведутся исследовательские работы, связанные с экологическими и техническими проблемами реабилитации и восстановления водоёмов и малых рек г. Москвы и гидротехнических сооружений, расположенных на тер-

ритории Московской области [1, 2]. Для оценки ситуации с водными объектами города и решения проблем природоприближённой реконструкции городских акваторий и территорий вокруг водоёмов и рек в августе и сентябре 2003 г. было проведено очередное обследование. Данная статья призывает обратить внимание на актуальность решения задач реабилитации и безопасной эксплуатации столичных водоёмов, что тесно связано с надёжностью гидротехнических сооружений (ГТС) на них.

Список гидротехнических объектов, подлежащих осмотру, был согласован с руководством и эксплуатационными службами Главного управления природными ресурсами и охраны окружающей среды по г. Москве, ГУП «Мосводосток», ДЗ «Гидромост». Эксплуатация водоёмов осуществляется соответствующими ЭГТР ГУП «Мосводосток» (табл.1). Были обследованы гидротехнические сооружения, прибрежная территория и акватория 19 водоёмов в трёх округах города (САО — 5, СВАО — 2, ЮАО — 12) и гидроузел на р. Яузе. При оценке состояния каждого сооружения и всего гидроузла в целом выполнялись инструментальные замеры, выяснялось наличие проектной и исполнительной документации, паспортов объектов, контрольно-измерительной аппаратуры. При этом подробно описывались дефекты сооружений. Среди них выделялись дефекты, которые могут привести к аварии на сооружении в процессе эксплуатации объекта [3]. Производились зарисовки и фотографирование наиболее характерных ситуаций.

Основные данные по обследованным в 2003 г. водоёмам г. Москвы Таблица 1

№ п/п	Наименование водоёма	№ ЭГТР	Год ввода в экспл.	Обобщенная оценка состояния		Уровень безопасности	Необходимые мероприятия по ГТС и водоёму
				Техн.	Экол.		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Малый Головинский пруд, САО	2	1964г.	Т	НУ	Нр	Требуется очистка
2	Средний Головинский пруд, САО	2	1964г.	К	У	П	Требуется кап. ремонт мехоборудования и очистка
3	Большой Головинский пруд, САО	2	1964г.	Т	У	П	Текущий ремонт и очистка
4	Большой Садовый пруд, САО	2	1964г.	Т	У	П	Текущий ремонт и очистка
5	Верхний Кировоградский пруд, ЮАО	6		К	ОУ	Н	Требуется реконструкция
6	Средний Кировоградский пруд, ЮАО	6		К	У	Н	Требуется кап. ремонт

*Безопасность энергетических сооружений*

*Продолжение таблицы 1*

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Нижний Кировоградский пруд, ЮАО	6		К	У	Н	Требуется кап. ремонт
8	Чертановский пруд, ЮАО	6	1960г.	К	НУ	Н	Требуется кап. ремонт
9	Люблинский (Нижний) пруд, ЮВАО	5	1964г.	К	У	П	Требуется кап. ремонт и очистка акватории и берега
10	Люблинский (Верхний) пруд, ЮВАО	5	1964г.	Т	У	Нр	Требуется очистка
11	Шибяевский пруд (Кузьминский пруд №4), ЮВАО	5	XVIII век	К	У	Н	Требуется кап. ремонт водосброса и текущий ремонт элементов плотины
12	Шучий пруд (Кузьминский пруд №3), ЮВАО	5	XVIII век	У	У	Нр	Заканчивается реконструкция
13	Нижний Кузьминский пруд (Кузьминский пруд №2), ЮВАО	5	XVIII век	Т	У	Нр	Требуется очистка и реконструкция мостового перехода
14	Верхний Кузьминский пруд (Кузьминский пруд №1), ЮВАО	5	XVIII век	К	ОУ	П	Требуется кап. ремонт впускного коллектора, текущий ремонт нижнего бьефа водосброса
15	Верхний Царицынский пруд, ЮВАО	6	XVII - XVIII век	А	У	Н	Требуется кап. ремонт и очистка
16	Нижний Царицынский пруд, ЮВАО	6	XVII - XVIII век	А	НУ	Н	Требуется кап. ремонт и очистка
17	Джамгаровский пруд, СВАО	3		Т	У	П	Требуется текущий ремонт и очистка
18	Амбулаторный пруд, САО	2	1964г.	У	У	Нр	Требуется очистка
19	Гончаровский пруд, СВАО	3	1960г.	У	У	Нр	Требуется очистка

Одновременно при проведении обследований водных объектов г. Москвы, по возможности, уделялось внимание экологической оценке состояния водоёмов. Для оценки некоторых абиотических и антропогенных факторов водной среды производились опросы

населения. Запрашивались в лаборатории данные химического и бактериологического анализа воды. Фиксировалась степень зарастания и состояние береговой и водной растительности. Выполнялся анализ загрязнений воды и экологического состояния всего объекта в целом.

Обследованные гидротехнические сооружения располагались на четырёх водотоках: р. Городне (2 каскада из 3-х и 2-х прудов); р. Лихоборке (каскад из 3-х прудов и 1 водоём на притоке р. Жабенке р. Пономарке (2 каскада из 4-х и 2-х прудов); р. Яузе с притоком Ичка (1 объект) (табл. 1). Из осмотренных водных объектов 6 являются культурно-историческими и природными памятниками, созданными в XVII – XVIII в.в. Все они в настоящее время интенсивно используются для рекреации. Приоритетное назначение обследованных объектов — декоративное (60%). Среди водных объектов хозяйственного назначения (25%) по значимости были выделены ГТС Лихоборской обводнительной системы, предназначенной для водоснабжения р. Яузы.

Анализ результатов технического мониторинга выбранных объектов показал, что из общего числа гидроузлов на 74-х % проведен текущий ремонт. Возраст сооружений после капитального ремонта составляет от 12 до 27 лет, а после ввода в эксплуатацию — более 40 лет. Несмотря на текущие ремонты, ГТС прудов исчерпали свой срок службы и частично или полностью вышли из строя. Состояние берегозащитного крепления на двух прудах неудовлетворительное: железобетонные плиты покрытия имеют трещины и сколы, доходящие порой шириной до 0,1...0,2 м; арматура обнажена и проржавела; швы часто не заделаны и заросли травой и кустарником; отсутствует подготовка под плитами (Нижний Кировоградский пруд); грунт под плитами обрушился; плиты просели, смещены и разрушены; промоины под плитами достигают глубины 0,5 м (Чертановский пруд). На четырех прудах берегозащита отсутствует. На остальных 13-ти прудах состояние берегозащиты признано относительно удовлетворительным.

Из всех осмотренных ГТС в аварийном состоянии находятся или требуют капитального ремонта: 2 грунтовых плотины (Нижнего и Верхнего Царицынского пруда); 2 открытых водосброса Царицынских прудов (Верхнего, рис. 1, и Нижнего, рис. 2); 3 трубчатых водосброса (Шибяевского, Нижнего Люблинского и Среднего Кировоградского прудов); 1 трубчатый коллектор (Верхнего Кузьминского пруда); берегоукрепление приплотинного

участка Нижнего Люблинского пруда; механическое оборудование сооружений Верхнего и Нижнего Царицынских прудов, Нижнего Люблинского и Среднего Головинского прудов. Из 19 обследованных водных объектов 11% находятся в аварийном состоянии, 42% требуют капитального ремонта, 47% находятся в удовлетворительном состоянии. Чертановский и Нижний Кировоградский пруды (эксплуатируются ЭГТР №6, ЮОА) по неустановленной причине несколько лет стоят опорожнёнными. Для выяснения причин утечки воды после наполнения и полного опорожнения прудов рекомендовано провести архивные изыскания, оценить инженерно-геологические условия в районе водоёмов методами инженерной геофизики и решить вопрос о целесообразности экранирования ложа прудов.



Рис. 1. Вид с верхнего бьефа водосброса Верхнего Царицынского пруда

В табл. 1 в графе *обобщённая оценка* даны следующие условные обозначения технического и экологического состояния сооружений: А — аварийное, К — сооружения требуют капитального ремонта, У — сооружения находятся в удовлетворительном состоянии, Т — нуждаются в текущем ремонте, НУ — неудовлетворительное, У — удовлетворительное, ОУ — относительно удовлетворительное. В следующей графе при обозначении *уровня безопасности*, в соответствии с Российским регистром, принято: Нр — нормальный, П — пониженный, Н — неудовлетворительный уровень безопасности ГТС [1].



Рис. 2. Вид с нижнего бьефа водосброса Нижнего Царицынского пруда

В результате анализа данных визуальных наблюдений можно констатировать следующее (таблицы 2 и 3). Ландшафтно-рекреационные возможности осматриваемых водных объектов используются недостаточно. На всех водоёмах и прилегающих к ним прибрежных территориях имеются предупредительные знаки. Состояние служебных и пешеходных дорожек в большинстве удовлетворительное (60%). Но как на береговых участках, так и на акватории много бытового, рекреационного и строительного мусора (75%). Прибрежная растительность нарушена в большей степени на Маярком Головинском, Большом Садовом и Царицынских прудах, где ярко выражена тропиочная сеть, площадь изменения травяного покрова более 50% и древостой ослаблен. Обширная территория историко-рекреационного комплекса «Кузьминки-Люблино» изобилует несанкционированными местами въезда и разбитыми дорогами. Поскольку парковая зона является особо охраняемым объектом, следует принять мероприятия для устранения доступа любого вида транспорта на территорию парка, что, несомненно, улучшит экологическую ситуацию как в лесном массиве, так и на водоёмах паркового комплекса.

Чрезмерное зарастание (растительностью было в момент обследования покрыто более 50% площади пруда), соответствующее 5-ой степени, наблюдалось на Верхнем Кировоградском и

Таблица 2

Данные к анализу экологического состояния водоемов

№ п/п	Наименование пруда	Прибрежная растительность		Тип зарастания	Степень зарастания		Цветение воды	Степень таксономности	Наличие нефт. пленки		
		Классификация дровостоя	Нарушен.		Состояние	Балл			% площади	Внешний вид, толщина пленки, мкм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Малый Головинский пруд	Ослаблен	2	IV	III	Большое, неравномерн., островное	4	21-35	нет		Серебристый отблеск: 0,08
2	Средний Головинский пруд	Ослаблен	2	III	III	Большое, неравномерн., островное	4	21-35	нет	β	Едва заметна: 0,032
3	Большой Головинский пруд	Ослаблен	2	III	III	Небольшое, неравномерн., островное	3	10-20	нет	α	Едва заметна: 0,038
4	Большой Садовый пруд	Сильно ослаблен	3	IV	III	Небольшое, неравномерн., островное	3	10-20	Незначит.	α	Небольшие нефтяные пятна: 0,038
5	Верхний Кировоградский пруд	Ослаблен	2	II	II	Неравномерн.	+5	> 50		α	Без нефтяной пленки
6	Средний Кировоградский пруд	Ослаблен	2	II	I	Равномерное, небольшое	2	3-10		α	Не обнаружена
7	Нижний Кировоградский пруд	Здоровый	1	II	I	Равномерное, небольшое	2	3-10			
8	Чертановский пруд	Здоровый	1	II-III	II	Небольшое, неравномерн.	2	5-10		α	Отсутствует

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	Люблинский (Нижний) пруд	Здоровый	1	I	III	Ничтожное, неравномерн. и островное	1	2	Нет		В отдельных местах: 0,03
10	Люблинский (Верхний) пруд	Здоровый	1	I	III	Ничтожное, неравномерн. и островное	1	2	Нет		Нет
11	Шибавский пруд	Здоровый	1	I-III	II	Небольшое, неравномерн.	2	5-10	Нет		Нет
12	Щучий пруд	Здоровый	1	I							
13	Нижний Кузьминский пруд	Здоровый	1	I	III	Среднее, неравномерн., островное	3	11-20	Первонач. призн.	β	Едва заметная: 0,038
14	Верхний Кузьминский пруд	Здоровый	1	I	III	Ничтожное, неравномерн., островное	1	2	Нет		Нет
15	Верхний Царицынский пруд	Ослаблен	2	II-IV	I	Среднее, равномерное	3	11-20	Незначител.		Едва заметна: 0,06
16	Нижний Царицынский пруд	Ослаблен	2	V	III	Чрезмерное, неравномерн., островное	5	> 50	Интенсивное	β, α	Тусклые, темного окраса: 1,016-2,032
17	Джамгаровский пруд	Здоровый	1	III	III	Среднее, неравномерн., островное	3	10-20	Нет	β	Нет
18	Амбулаторный пруд	Здоровый	1	II	II	Небольшое	2	3-10	Небольшие пятна	β	Едва заметна: 0,025
19	Гончаровский пруд	Ослаблен незначит.	1-2	II	III	Небольшое, островное, неравномерн.	2	3-10	нет		Немного в углах: 0,025

Таблица 3

## Показатели качества воды в обследованных водоемах

№ п/п	Наименование пруда	Цвет		Запах			Прозрачность	Мутность	Осадок
		Окрашивание	Градус цветности	Характер	Интенсивность, балл	Обнаруживаемость			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Малый Головинский	Светло-желтый	Около 100	Затхлый	II	Слабый	Прозрачная	Слабая	Незначительный
2	Средний Головинский	Светло-желтый	Около 100	Затхлый	II	Слабый	Прозрачная	Слабая	Незначительный
3	Большой Головинский	Светло-желтый	Около 80	Затхлый	I	Очень слабый	Прозрачная	Слабая	Незначительный
4	Большой Садовый	Светло-желтый	Около 100	Затхлый	I	Очень слабый	Прозрачная	Слабая	Незначительный
5	Верхний Кировоградский	Желтый	120	Запах гниющего сена	I	Очень слабый	Загрязненная, 4 класс качества	Слабая	Незначительный
6	Средний Кировоградский	Очень слабо-желтый	20	Запах свежести арб. корки	II	Слабый	Прозрачная	Слабая	Незначительный
7	Нижний Кировоградский	Бесцветный	Менее 10	нет	0	Никакого запаха	Прозрачная	Слабая	Незначительный
8	Чертановский	Светло-желтоватый	80	Огуречный	I	Очень слабый	Прозрачная	Слабая	нет
9	Люблинский (Нижний) пруд	Зеленоватый	Менее 20	Землистый	I	Очень слабый	Прозрачная	Слабая	Незначительный
10	Люблинский (Верхний) пруд	Зеленоватый	Менее 20	Землистый	I	Очень слабый	Прозрачная	Слабая	Незначительный

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Шибавевский пруд	Бесцветный	Менее 10	нет	0	Никакого запаха	Относительно прозрачная	Мало заметн	Незначительно хлопьевидн.
12	Щучий пруд								
13	Нижний Кузьминский пруд	Бесцветный	Менее 10	Болотный, сырой	I	Очень слабый	Относительно прозрачная	Заметн	Незначительно илистый
14	Верхний Кузьминский пруд	Бесцветный	Менее 10	Землистый	I	Очень слабый	Относительно прозрачная	Слабая	Незначительно илистый
15	Верхний Царицынский пруд	Желтоватый	40	Влажной почвы с нефтепродуктами	I	Очень слабый	Прозрачная	Слабая	Практически нет
16	Нижний Царицынский пруд	Бурый, желтый	Более 20	Запах нефтепродуктов	IV	Отчетливый	Мутная	Заметн	Заметно илистый
17	Джамгаровский пруд	Желто-коричневый	30	Речной с примесью землистости	0-I	Слабый	Относительно прозрачная	Мало заметн	Незначительно илистый
18	Амбулаторный пруд	Светло-желтый	Около 80	Отсутствует	0	Никакого запаха	Относительно прозрачная	Слабая	Незначительно хлопьевидн.
19	Гончаровский пруд	Желтый	Около 140	Затхлый	I	Очень слабый	Прозрачная	Слабая	Незначительный, илистый

Нижнем Царицынском прудах при разном типе их зарастания. Менее всего (1...2% от площади пруда) заросли к моменту обследования Люблинские и Верхний Кузьминский пруды. Вода «цвела» на Нижнем Царицынском пруду и незначительно по углам Амбулаторного пруда. Можно отметить, что 9 из обследованных водоёмов (47%) практически на момент обследования не были подвержены «цветению». Это свидетельствует об оптимальном гидробиологическом режиме в этих прудах.

Во время натурных обследований при оценке количества нефти использовался способ, основанный на известной корреляционной зависимости между внешним видом плёнки, её толщиной и количеством нефти [4]. Анализ данных по обследованным объектам показал, что все водные объекты испытывают огромную антропогенную и техногенную нагрузку, которая, прежде всего, выражается в огромном количестве попадающих в них неочищенных сточных вод. Больше всего загрязнены нефтепродуктами Нижний Царицынский и Малый Головинский пруды. Наибольшая концентрация нефтепродуктов, обнаруженная в Нижнем Царицынском пруду, в 18 раз больше чем на Яузском гидроузле и в 35 раз больше чем в Малом Головинском пруду на период обследования. На 6 объектах нефтяная плёнка не обнаружена. Следует отметить, что, судя по характеру изменения концентрации загрязнений (от верхних к нижним прудам в каскадах), поступление загрязняющих веществ происходит как из-за сброса воды через водовыпуски, так и за счёт непосредственного загрязнения с берегов, особенно в период максимальной рекреационной нагрузки, таяния снега и ливневых дождей. Это указывает на необходимость проведения специальных мероприятий, предусматривающих как дополнительную очистку стекающих в реки и водоёмы вод, так и возможность временной изоляции прудов от поступлений загрязнённых стоков. Известно, что городские предприятия дают в общий сток только 30% загрязнений. Остальные поверхностные стоки (более 70%) поступают с городских территорий. Вода даже в тех стоках, которые проходят через очистные сооружения, практически не очищается: большая часть оборудования устарела, морально и технологически изношена. Штрафы, которые взимаются за загрязнение воды, не отражают реальной стоимости ущерба, наносимого природе. Таким образом, правильно организовать поверхностный сток и построить очистные сооружения для ливневых стоков с улиц — задача для города первостепенная, но очень дорогостоящая.

Из-за попадания большого стока загрязнённой дождевой воды в число водоёмов, в которых разрешено купание, обследованные нами пруды ЮВАО, в том числе Люблинские и Кузьминские, в последние годы не входят. Как показывает анализ данных лабораторных замеров Центра госсанэпиднадзора округа, содержание кишечной палочки многократно превышает требования санитарных норм. В такой воде могут быть бактерии и вирусы, вызывающие эпидемиологический гепатит, дизентерию и другие кишечные заболевания. Несмотря на наличие запрещающих знаков всегда на водоёмах в летний период есть купающиеся, что свидетельствует об отсутствии бытовой культуры населения.

При определении степени токсичности (токсичности) вод учитывалось распределение организмов-биоиндикаторов. В качестве таксономической группы гидробионтов рассматривались наиболее часто встречающиеся породы рыб. Рыба в московских прудах есть, но употреблять её в пищу нельзя, так как содержание нефтепродуктов, марганца, железа в водоёмах превышает норму в 2...3 раза. Для прудов севера столицы характерны карась, окунь, плотва, карп. Наиболее крупные особи попадают на Большом Садовом, Среднем Головинском и Царицынских прудах. На Кузьминских прудах, кроме перечисленных выше, водятся ещё лещ и щука. На Люблинских прудах рыба практически отсутствует.

Таким образом, в результате проведённого комплексного натурного обследования состояния водоёмов и участков прилегающих к ним малых рек Лихоборки, Городни, Яузы и Пономарки (протекающих, соответственно, на территории САО, СВАО и ЮВАО г. Москвы) установлено, что на 4-х объектах экологическое состояние в момент обследования было неудовлетворительным (21%), на 13 — удовлетворительным (68%) и на 2-х — относительно удовлетворительным (11%). В 2003 году было обследовано менее 10% от общего числа водоёмов столицы, но картина на остальных водных объектах, судя по публикациям в периодической печати и материалам научно-практических конференций по экологии и проблемам управления качеством городской жизни, аналогичная.

Считаем целесообразным безотлагательно приступить к разработке и реализации проекта реконструкции и ремонта сооружённого каскада водоёмов на р. Городне (Верхний и Нижний Царицынские пруды, в нижнем бьефе которых находится в аварийном состоянии Борисовский пруд). Также следует подвергнуть тотальной реконструкции Головинские пруды (каскад прудов на р. Ли-

хоборке, в нижнем бьефе которых находится район интенсивной застройки): очистить их от мусора и ила; укрепить берега; благоустроить прилегающую территорию; обустроить пляжи и площадки для отдыха. Перед кардинальным изменением водного ландшафта надо вывести весь крупногабаритный мусор, в большом количестве находящийся на берегу прудов: остовы машин, старый металлолом, брёвна и т.п., отремонтировать и восстановить дорожную сеть, мостовые переходы.

Общий анализ состояния ряда сооружений в 2003 г. позволил не только отметить основные дефекты на конкретных прудах, но и сформулировать некоторые проблемы, связанные с реабилитацией городских водоёмов и повышением уровня их безопасности. Отсутствием полной проектной и технической документации (на 10 объектах), заполненных паспортов водоёма или гидроузла (на 11 объектах), планов мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий ЧС (на 12 отсутствовали на момент обследования, а на 7 объектах находились в стадии формирования) затрудняет разработку комплекса мероприятий по обеспечению и повышению безопасной эксплуатации городских ГТС и оценку степени безопасности сооружений конкретного водного объекта. При этом надо учитывать, что каскадное расположение гидротехнических объектов увеличивает риск возникновения катастрофических последствий. Необходима обязательная паспортизация всех городских водных объектов: ГТС прудов, малых рек, родников, фонтанов, очистных сооружений, насосных станций, гидроузлов, водозаборов, дорожных ГТС и т.д.. Паспорта позволят получить полную информацию об экологическом состоянии водного объекта, установить состав, наличие и техническое состояние его элементов, наметить виды и сроки ремонта и очистки, корректировать данные «Мосэкомониторинга». Одновременно с мониторингом напорных гидротехнических сооружений предлагается в дальнейшем приступить к инвентаризации и мониторингу безнапорных ГТС: дюкеров, акведуков, прудов-отстойников, бассейнов, аквапарков, станций аэрации и др., также представляющих потенциальную опасность объектам экономики и населению г. Москвы.

Отсутствие простейшей контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) на всех обследованных объектах, квалифицированных кадров надзорщиков и специалистов в службе эксплуатации, имеющих гидротехническое образование, приводит к невозможности выполнения необходимых, своевременных ремонтных работ и проведению полноценного мониторинга. Именно от точности,

достоверности и актуальности собранных данных зависит эффективность геоинформационной системы (ГИС). Для обеспечения задач уточнения картографической базы данных, сбора, наполнения и обновления атрибутивной информацией ГИС «Гидросеть Москвы» и экологического паспорта москвича, разработанного центром «ЭкоМосква», необходима организация пунктов водоотбора и установка КИА при реконструкции водных объектов.

Хотелось бы отметить особенности оформления городских водоёмов, которому уделяется в настоящее время недостаточно внимания. На обследованных прудах только на двух были установлены фонтаны, на трёх — домики для водоплавающих птиц. Лишь летом 2004 г. на Большом Кузьминском пруду впервые к открытию второго городского фестиваля цветников на водной глади установлена плавающая композиция из живых цветов. В проектах реставрации прудов желательно использовать современные тенденции развития ландшафтного дизайна, учитывая при этом в его оформлении основное назначение водоёма. Наиболее эффективно такой приём может быть использован при каскадном расположении прудов (Кузьминские, Люблинские, Царицынские, Головинские пруды и т.д.), что позволит подчеркнуть разные функции водоёмов в каскаде (для купания, созерцания, отдыха, спорта, природного заказника и т.п.). Для поощрения вылова мелкой сорной рыбы целесообразно оборудовать санкционированные места, что будет способствовать повышению устойчивости экосистемы водоёмов. Ни на одном из обследованных водоёмов пока таких мест нет.

При реконструкции водоёмов памятников садово-паркового искусства (например, усадьба «Студенец» на Красной пресне, пруд в Останкино) или создании исторических ландшафтов водных объектов Москвы, изображение которых практически не сохранилось (Лефортово, Царицыно, Покровское-Стрешнево и др.), объединяя методы ландшафтного и архитектурного дизайна, необходимо стремиться к сохранению основных стилей столичных водных ландшафтов, реминисцируя их. При реконструкции надо использовать природные материалы: камень, дерево, биологическое крепление. После технической и экологической реставрации, соответствующего оформления и обустройства такие уникальные водные объекты, являющиеся важнейшим элементом природного и культурного наследия нашей столицы, могут стать не только украшением и достопримечательностью Москвы, но и широко использоваться для экологического просвещения и туризма.

Анализ состояния вопроса по сохранению и реабилитации городских рек и прудов, подтверждённый результатами натурных обследований ряда водоёмов на четырех малых реках Москвы, показал довольно сложное положение с водоёмами в столице и многообразии проблем их обустройства. Ряд из них может быть решён только на уровне правительства Москвы.

В новом городском законе необходимо чётко выяснить вопрос об определении собственности водоёмов, так как по существующей федеральной программе «Вода России-XXI век» Москве выделяют лишь 0,55% средств от потребности, то есть столица должна фактически полностью финансировать из бюджета города восстановление водоёмов, хотя собственность водных объектов не определена. На данный момент не совсем понятно, кто управляет, кто отвечает за охрану и контроль. Это создаёт спорные ситуации при организации обследований, проведении надзора за состоянием, текущем и капитальном ремонте водоёмов и эксплуатации их гидротехнических сооружений. Не ясно, кто должен в городе заниматься прудами: ГУП «Мосводосток» или префектура и управы районов? Сейчас на балансе ГУП «Мосводосток» находятся 246 водоёмов и 25 во временной эксплуатации, но по существу они бесхозны. Служба эксплуатации водоёмов (в разных ЭГТР с различной периодичностью) лишь убирает мусор с берегов, реже с водной поверхности, а иногда и дна водоёмов. Регулярное техническое обслуживание сооружений и механизмов, за исключением гидроузла на Яузе, не производится.

Надо привести в соответствие и статус водоёмов, и основных водотоков мегаполиса, и нормы очистки. Городской закон должен урегулировать нормы по качеству воды для разных видов водопользователей (купания, причалов, кафе, рыбохозяйственных водоёмов и пр.), поскольку практически на всех прудах есть или строятся на акватории или берегу кафе, рекреационные зоны с аттракционами и т.п. (пруды на ул. Усиевича и ул. Гончарова, Люблинские, Кузьминские, Царицынские, Головинские пруды, Большой Садовый пруд и др.).

На берегах часто расположены предприятия и гаражи, которые наносят вред экологии, загрязняют реки и пруды (Большой и Средний Головинские пруды, Нижний Царицынский и Борисовский пруды и др.). Многие городские пруды являются природоохранными объектами, поэтому строительство на них не разрешено и должны чётко выполняться нормы ограничения градостроительной деятельности (например, пруды в парке Покровское-Стрешнево и др.). Следует проводить работу по выводу предприятий,

промзон, складов, гаражей и превращению освободившихся территорий в зоны отдыха. Целесообразно провести ревизию всех этих ранее построенных предприятий, перепрофилировать или вывести те из них, которые нарушают экологию, или разрабатывать компромиссные и компенсационные решения, вплоть до изменения границ территории, имеющей природоохранный статус (как, например, планируется при благоустройстве комплексного заказника «Петровское-Разумовское», имеющего ряд важных водных объектов не только для САО, но и для всего мегаполиса).

Особое внимание должно уделяться экологическому просвещению населения, поскольку 28% площади территории столицы — это сохранившийся природный комплекс (скверы, лесопарки, сады, бульвары, реки, родники). Для этой цели и служит центр «ЭкоМосква», разработавший экологический паспорт москвича и экологические карты города. По территории парков и столичным заповедникам целесообразно проложить экологические тропы. Такие мероприятия могут помочь бороться с проявлениями вандализма населения, затрудняющего работы по благоустройству прилегающих территорий рек и прудов, что нередко наблюдается при выполнении берегоукрепительных сооружений из габионов (например, пруд Торфянка и др.), и минимизировать засорение прудов. Этому способствует также создание в школах экологических отрядов с закреплением за ними конкретных речек и прудов (как организовано в ЮЗАО), экологических классов (САО), олимпиад и конференций среди школьников и студентов, проходящих в МГУ Природообустройства, участие студентов и преподавателей МГУП в разработке дипломных и конкурсных проектов восстановления и оздоровления водоёмов с максимальным использованием современных строительных технологий и методов их естественной биологической очистки и т.д.

Появление целого ряда природоохранных законов — об экологическом мониторинге, о государственном экологическом контроле, о водных объектах, о почве, об атмосферном воздухе, о защите зелёных насаждений, о комплексном природопользовании и др., по мнению руководителя Департамента природопользования и охраны окружающей среды Москвы Л. Бочина делает актуальным формирование Экологического кодекса Москвы. Такая новая законодательная база позволит более эффективно регулировать взаимоотношения между основными субъектами окружающей природной среды — жителями, администрацией города и предпринимателями — и «...обеспечить поэтапную экологизацию промышленного потенциала города».

Все вышеперечисленные проблемы должны найти отражение и в новой городской программе, которая готовится сейчас в правительстве Москвы, и в проекте закона «О водных объектах Москвы» и в новом Водном кодексе РФ. Несомненно, возвращение рек и городских водоёмов в природоприближённое состояние и придание им естественных природных форм, очистка и реконструкция водоёмов, водоохранная и ландшафтная организация прилегающих к ним территорий будут способствовать обеспечению экологически комфортных условий жизни и отдыха москвичей и позволят реализовать основные положения Закона «О безопасности гидротехнических сооружений» в г. Москве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В.И. Оценка безопасности ГТС средствами информатики. Учебное пособие. М.: МГУП. 2004.
2. Каганов Г.М., Румянцев И.С., Волков В.И., Алтунин В.И., Черных О.Н. Мониторинг состояния гидротехнических сооружений г. Москвы. Отчёт НИЧ МГУП. М.: 2003.
3. Каганов Г.М., Волков В.И., Черных О.Н. Обследование ГТС при оценке их безопасности. Учебное пособие для вузов. М.: МГУП. 2001.
4. Никитенков Б.Ф., Пастухова Е.В., Лагутина Н.В., Козлов Д.В., Орлова Т.Г. Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза. Учебное пособие для вузов. М.: МГУП. 2001.

### **ВИБРАЦИЯ ВОДОСЛИВНОЙ ПЛОТИНЫ ВОЛЖСКОЙ ГЭС им. В.И. ЛЕНИНА\* И РАСПОЛОЖЕННЫХ НА БЕРЕГУ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ПРОПУСКЕ ПАВОДКА**

*Лятхер В.М., доктор техн. наук,  
Комельков Л.В., инженер (ОАО «НИИЭС»)*

В весенний паводок 1979 года была обнаружена значительная вибрация жилых домов левобережного Комсомольского района г. Тольятти, примыкающего к плотине Волжской ГЭС им. В.И. Ленина (рис.1). Жильцы верхних этажей 9- и 14-этажных домов, отстоящих от плотины на 2 – 4 км, первыми ощутили эту вибрацию. Тогда же было высказано предположение, что вибрация зданий и её следствие (появление трещин в облицовке зданий) связана с прохождением через гидроузел высокого паводка.

Исследования, развернутые тогда же по поручению Минэнерго СССР, должны были уточнить параметры вибрации плотины

\*С июля 2004 г. переименована в ОАО «Жигулевская ГЭС»

Волжского гидроузла при пропуске паводка 1979 года и проверить наличие связи между вибрациями плотины и жилых домов в районах г. Тольятти, примыкающих к плотине.

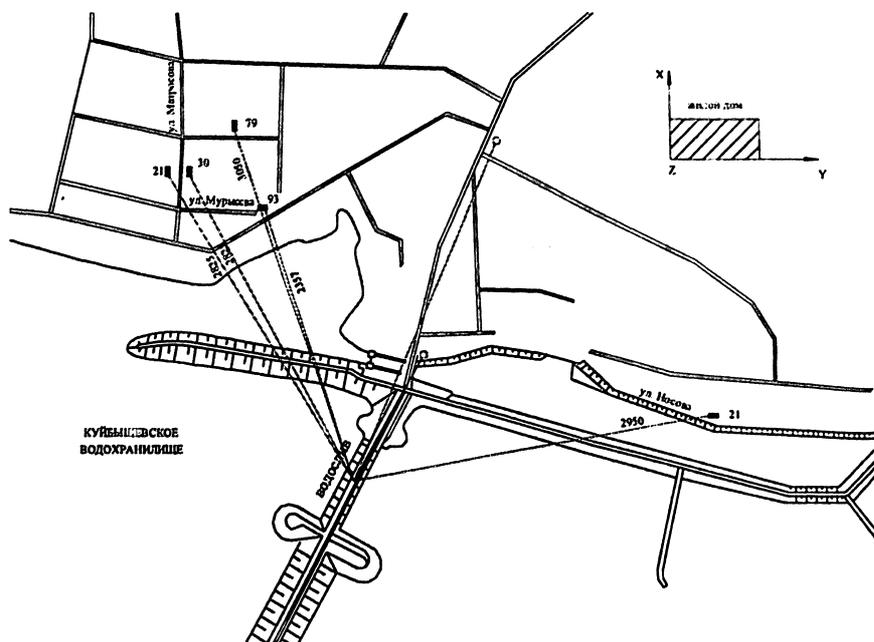


Рис. 1. План-схема гидроузла и обследованных левобережных жилых домов

НИС Гидропроекта (теперь ОАО «НИИЭС») совместно с институтом Гидропроект в период с 10.05. 1979 г. по 30.07.1980 г. провёл натурные исследования, лабораторный эксперимент и расчёты по изучению вибрации плотины Волжского гидроузла им. В.И. Ленина и зданий береговой застройки.

Целью исследований являлось:

1. Установление причин ощутимой вибрации жилых районов, ее связи с вибрацией плотины.
2. Оценка параметров вибрации плотины при различных условиях пропуска сбросных расходов.
3. Разработка мероприятий, способствующих снижению вибрации плотины и районов, примыкающих к плотине.

#### *Методика исследований и измерительная аппаратура*

Основным методом исследований в данной работе были приняты натурные наблюдения за вибрацией при определенном, це-

ленаправленном изменении схем открытия затворов. Кроме того, на основе общей теории, разработанной в [1, главы 6 – 8], были проведены численные оценки возможного затухания колебаний, распространяющихся от плотины. Натурные исследования на плотине в 1979 – 1980 гг. проводились при пропуске половодья через плотину при трех основных схемах открытия (13 режимов).

*Схема 1.* Равномерное открытие на 3,5 м; 2,5 м; 1,0 м и 0,5 м — режимы № 2, 6, 13 и 14 (расход через плотину  $Q_{пл} = 25200, 11200, 3900$  и  $1920$  м<sup>3</sup>/с).

*Схема 2.* Концентрация расходов на узком фронте плотины у правого берега (с соблюдением действующей инструкции по маневрированию затворами, разработанной из условия минимума деформаций русла в нижнем бьефе) — режимы № 3, 7, 10 ( $Q = 17500, 11066, 5730$  м<sup>3</sup>/с).

*Схема 3.* Сброс воды отдельными струями, разнесёнными по ширине водосливного фронта, — режимы № 4, 5, 8, 9, 11 ( $Q_{пл} = 15980, 16690, 7900$  и  $5730$  м<sup>3</sup>/с). Расстояние между струями в этих режимах изменялось от 2 до 10 пролётов (от 52 до 260 м).

Распределение расходов по фронту плотины в экспериментальных схемах №2 и №3 направлено на уменьшение вибрации плотины и влияния её на левобережные постройки либо за счёт отдаления основного источника вибрации, либо за счёт расхождения фаз колебаний секций плотины и водобоя, загружённых некоррелированными струями.

Вибрация плотины измерялась в основном в потерне (рис. 2). Регистрировалась вертикальная компонента перемещения. В режимах № 2 ÷ 5 измерения проводились в двух базисных точках (секции №3 и №10) и одной переменной, следующей последовательно номерам секций (нумерация от правого берега). В режимах №8 ÷ 14 регистрировались колебания одновременно в семи точках (три базисные и четыре переменные). Записи колебаний свободного грунта производились вдоль створа плотины на расстояниях в 1,5; 4,0 и 5,5 км от её центра. На свободном грунте и в потерне плотины была проведена синхронная запись вертикальных перемещений при режиме №5. В 10 – 15 м от зданий и на последних этажах регистрировались три компоненты скорости смещений при режимах № 2 ÷ 5 и № 14.

Вертикальные перемещения секций плотины регистрировались вибродатчиками И001 в комплекте с осциллографом Н041.

На свободном грунте и в жилых домах регистрировались скорости смещения по трём компонентам  $X, Y$  и  $Z$  с помощью сейсмоприемников типа СМ-3 в комплекте с гальванометром ГБ-IV-B-3

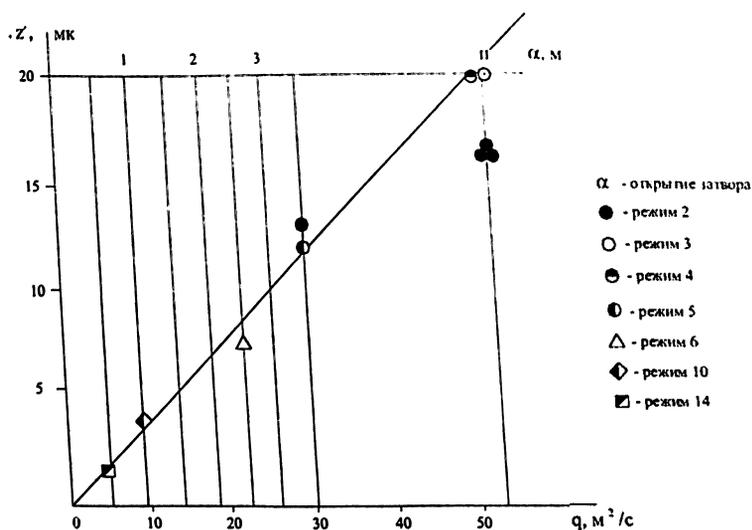


Рис. 2. Зависимость стандарта вибрации секции плотины от удельного расхода

( $f_0 = 120$  Гц) и осциллографом ИСО-ПМ. Столообразный характер тарировочных кривых использованных датчиков находится в диапазоне  $1,5 \div 20$  Гц.

В измерениях виброскорости на грунте за ось  $X$  принималось направление вдоль потока, на этажах - направление вдоль длинной стороны здания (рис.1).

Обрабатываемый период записей колебался в пределах  $20 \div 400$  с.

В амплитудном анализе определялись размах колебаний  $2A$  и среднеквадратичное отклонение (стандарт)  $\sigma$  — данные, характеризующие неравномерность процесса и интенсивность случайных величин.

### Вибрация плотины

Исследования гидродинамических нагрузок на водобой, а также вибраций водобоя и плотины проводились в период проектирования и на начальном этапе эксплуатации гидроузла [2, 3]. Эти исследования дали обоснованный прогноз вибрации плотины и водобоя, подтвердили высокую надёжность гидроузла. В тех работах не ставился вопрос о колебаниях прилегающих территорий, возбуждаемых вибрациями плотины и водобоя, — многэтажная береговая застройка началась через 10 – 15 лет после начала эксплуатации гидроузла.

Бетонная водосливная плотина Волжского гидроузла им. В.И. Ленина имеет распластанный профиль. Протяженность плотины около 1009,2 км. Водосливной фронт плотины состоит из 19 секций (38 пролетов по 20 м в свету) и рассчитан на пропуск при нормальном подпорном горизонте 53,0 м расхода воды до 40300 м<sup>3</sup>/с. Секции плотины имеют длину 52 м (крайние — 62,6 м), ширина секции 58 м. Вес типовой секции 98000 т [2].

Основная энергия потока гасится на ступенчатом водобое, состоящем из двух частей. Первый водобой представляет собой железобетонную плиту размером 52 x 26 x 5,6 м. На плите расположены в шахматном порядке два ряда гасителей и сплошная водобойная стенка трапецеидального сечения. Второй водобой выполнен в виде плиты толщиной 4,5 м, в конце которой расположена вторая водобойная стенка. В продольном направлении водобой разрезан швами через 26 м.

Основанием бетонной плотины и левобережного поселка служат аллювиальные песчаные отложения с гравийно-галечниковыми прослойками. Водоупор лежит на глубине 40 ÷ 50 м. Уровень грунтовых вод в районе жилого массива находится на глубине 15-20 м от поверхности земли. В районе улицы Носова значительно выше — на глубине ~ 1,0 м.

При пропуске половодья через водосливную плотину основные гидродинамические нагрузки, связанные с воздействием турбулентного потока, возникают на плитах водобоя за счёт колебания давления на поверхности плит. Изменения пульсации давления по длине водобоя таковы, что основная доля пульсационной нагрузки оказывается сосредоточенной на первой плите водобоя [2].

Вследствие осреднения нагрузок по площади плиты спектр суммарной нагрузки имеет существенно более низкую преобладающую частоту, чем пульсации давления в точках. Тем не менее спектр нагрузки имеет ненулевые значения в широком диапазоне частот, включающем и собственную частоту плит. Плиты водобоя, лежащие на водонасыщенном грунте, являются острорезонансной системой и могут черпать энергию колебаний из относительно малых воздействий. Вследствие этих колебаний в грунте основания возникают и распространяются упругие поверхностные волны, которые вовлекают в колебания другие водобойные плиты, секции водосливной плотины, земляные сооружения и береговые массивы грунтов.

Основные колебания секции водосливной плотины связаны с прохождением грунтовых волн от водобойных плит и соседних секций. Рассмотрение осциллограмм и корреляционный анализ

показали, что вибрация отдельной секции сочетает признаки случайного стационарного процесса и нестационарных биений с почти постоянным периодом.

Статистически стационарные колебания связаны с пульсацией гидродинамического давления на водобое, носящей случайный характер, и сложными колебаниями грунта, вызванными многочисленными источниками поверхностных и объемных волн, отраженных от более плотного подстилающего слоя.

Колебания биения вызваны тем, что плиты водобоя и секции плотины связаны между собой через грунтовое основание и имеют близкие собственные частоты.

Распределение максимальных размахов вибрации секции по фронту плотины тесно связано с распределением удельных расходов. Во всех режимах амплитуда вибраций отдельных секций увеличивается с увеличением открытия затворов соответствующей секции. В реальном диапазоне изменения уровня верхнего бьефа открытие затвора практически однозначно определяет удельный расход на водосливе. Таким образом, в среднем, колебания отдельных секций при больших удельных расходах сохраняют свою индивидуальность, и, значит, не представляется возможным говорить о постоянных колебаниях всей плотины как единого целого.

Среднеквадратичное значение вибрационного смещения той или иной секции оказывается тесно связанным с удельным расходом, сбрасываемым через эту секцию (рис. 2). Режим открытия остальных секций плотины относительно мало сказывается на колебаниях рассматриваемой секции. Влияние режима открытия затворов плотины максимально при наибольших удельных расходах, однако, в рассмотренном диапазоне изменения расходов оно в любом случае не превышает 15% (рис. 2).

Зависимость максимальных размахов вибраций отдельных секций от соответствующего удельного расхода менее устойчива (рис. 3). Разброс результатов здесь существенно больше. Это означает, что при одном и том же удельном расходе на секции, но при разных режимах открытия затворов функции распределения вибраций (и вид колебаний) могут быть заметно различными.

На рис. 2 видно, что при  $q \leq 30$  м<sup>2</sup>/с амплитуда вибраций примерно пропорциональна удельному расходу. При больших удельных расходах влияние  $q$  становится более слабым.

Так как амплитуда колебаний секций плотины приблизительно пропорциональна удельному расходу (рис. 2, 3), то можно было

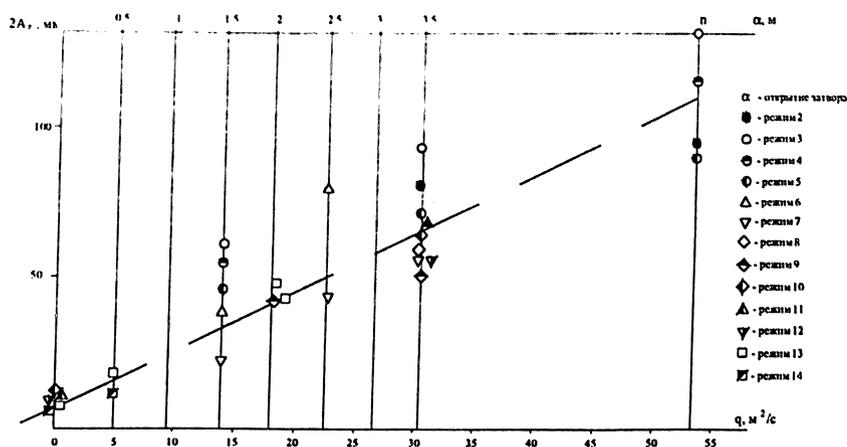


Рис. 3. Зависимость размаха вертикальных колебаний секции 2А от удельного расхода  $q$  через водосливную плотину

бы предполагать, что средняя амплитуда колебаний плотины в целом слабо зависит от распределения расхода по фронту плотины и прямо пропорциональна суммарному расходу пропускаемому через плотину. На рис. 4 показаны результаты расчетов средних ( $\bar{A}$ ) и среднеквадратичных ( $\bar{A}$ ) размахов колебаний плотины, проведенных на основании данных наблюдений за вибрацией плотины при пропуске паводковых расходов по формулам:

$$\bar{A} = \frac{1}{B} \int_0^y A(x) dx \quad (1)$$

$$\bar{A} = \sqrt{\frac{1}{B} \int_0^y A^2(x) dx} \quad (2)$$

Данные рис. 4 свидетельствуют об отсутствии однозначной связи между расходом через плотину и уровнем вибрации плотины (в среднем), хотя тенденция к увеличению амплитуды вибрации с увеличением расхода заметна.

Показатели (1) и (2) зависят от схемы распределения расхода по фронту плотины. Качественно этот результат объясняется тем, что при различных режимах пропуска расхода меняется корреляция между колебаниями разных секций. При равномерном распределении расхода часто наблюдается самосинхронизация колебаний отдельных секций (рис. 5).

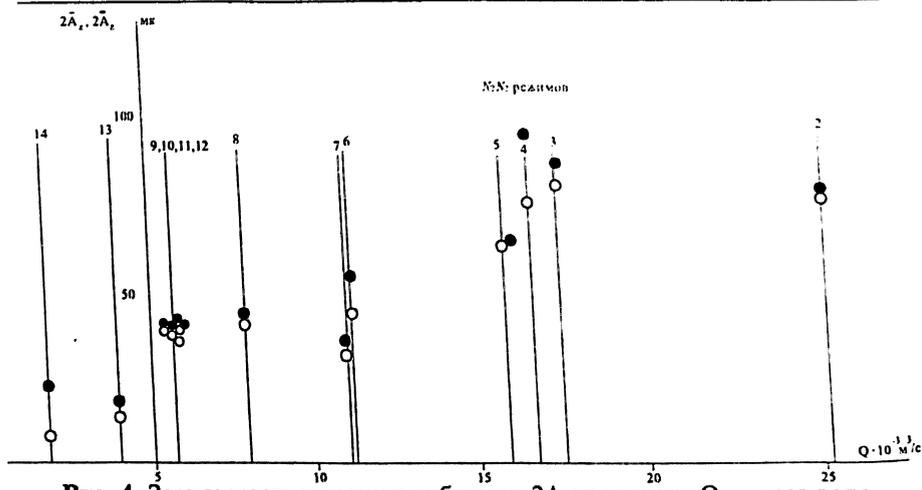


Рис. 4. Зависимость размахов вибрации  $2A$  от расхода  $Q_{пл}$  через водосливную плотину:  $\circ$  —  $2\bar{A}_z$  — среднееарифметическое максимальных размахов вибрации, взятое по сечениям плотины;  $\bullet$  —  $2\bar{A}_z$  — среднеквадратичное значение максимальных размахов вибрации

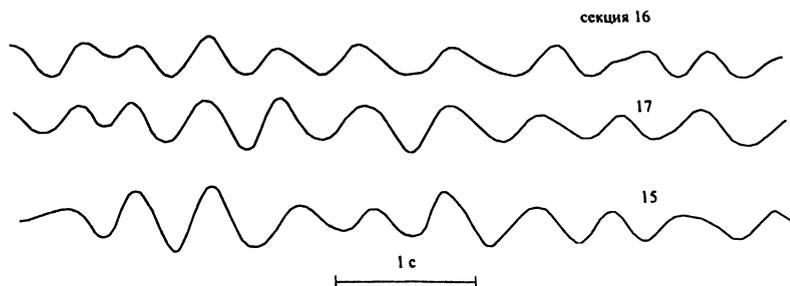


Рис. 5. Примеры записи синфазных колебаний секции плотины

При неравномерном открытии затворов этот эффект меньше. В этом случае корреляция между колебаниями отдельных секций плотины относительно невелика. Даже для соседних секций коэффициент корреляции не превышает 0,5.

На взаимной корреляционной функции вибрации секций № 9 и № 10 (рис. 6) отчетливо видны колебания, соответствующие собственным частотам основного тона, и, главное, видны колебания типа биений, выявленные ранее при визуальном анализе записей.

Эти особенности движений были выявлены и на автокорреляционных функциях вибраций секции 10 при разных режимах (3 и 6).

При равномерном открытии плотины (режимы 2 и 6) период собственных колебаний секции составляет около 0,6 с (частота около 1,66 Гц). При сосредоточенном сбросе через водосливы секции (режим 3) период собственных колебаний незначительно возрастает (до 0,65с). При этом вид автокорреляционной функции меняется мало, т.к. биения сохраняются за счет влияния колебаний соседних секций. Таким образом, полностью избавиться от самосинхронизации колебаний при изменении схемы открытия затворов не удастся, хотя относительная роль этих колебаний при неравномерном открытии уменьшается.

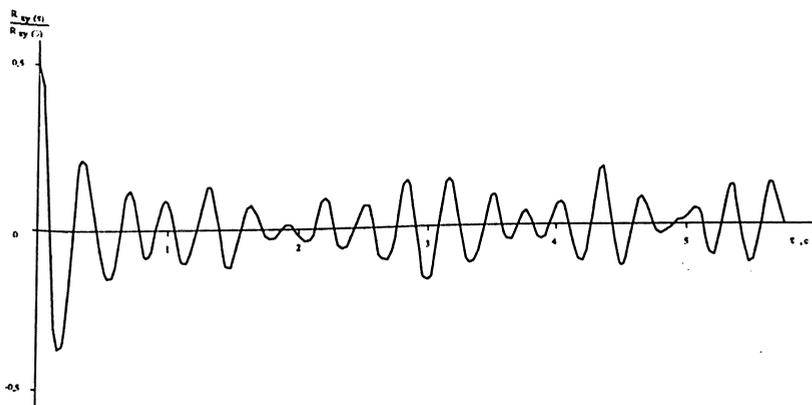


Рис. 6. Взаимно корреляционная функция смежных секций плотин № 9, 10. Режим 2

Вычисленные по записям функции спектральной плотности вибрации  $g_z(f)$  показывают, что частоты вибраций секций, соответствующие максимуму спектральной плотности, составляют 1,2 ÷ 1,64 Гц, 1,8 и 2,1 ÷ 2,3 Гц. Последняя, наименьшая по вкладу в дисперсию процесса  $Dx$ , и является, по-видимому, собственной частотой вращения секции. Частоты 1,6 ÷ 1,8 Гц — собственные частоты вертикальных перемещений секций. Смещение максимума спектра в диапазон частот 1,20 ÷ 1,64 Гц связано с изменением суммарного расхода через плотину. Спектр секции №10 при сбросном расходе 2000 м<sup>3</sup>/с (режим 14) имеет только два заметных максимума на частотах 1,2 и 2,0 Гц (рис. 7).

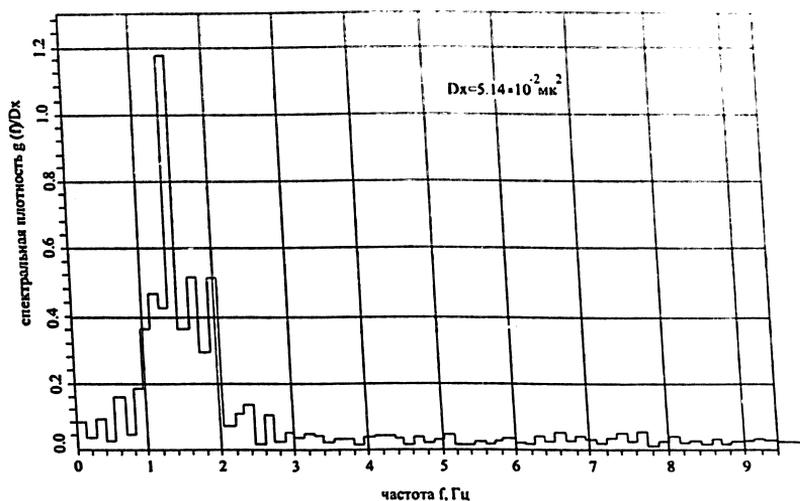


Рис. 7. Спектр вибрации плотины (секция 10). Режим 14

В период строительства гидроузла на водобойных плитах были размещены закладные части для датчиков давления и вибрографов. Приборы были установлены перед затоплением котлована. Пример регистрации колебаний плиты, приведённый в [3], и две вычисленные для этих примеров автокорреляционные функции вибрации по измерениям 1960 г. (через 5 лет после затопления котлована плотины) позволяют судить о следующем:

спектр вибрации плиты в режиме равномерного открытия пролётов ( $a = 1,5 \text{ м}$ ) имеет четкий максимум на частоте  $2 \div 2,2 \text{ Гц}$ ;

при открытии одного пролета на  $1,5 \text{ м}$  (при остальных закрытых) явно выраженный максимум спектра наблюдается на частоте  $1,4 \div 1,5 \text{ Гц}$ ;

секция плотины вибрирует сходно с водобойной плитой, судя по образцу записи [2].

Исследования [3] дали и количественные амплитудные характеристики воздействий в зависимости от удельного расхода:

$$Z' = -1,9 + 0,8 q \quad , \quad (3)$$

здесь  $Z'$  — среднеквадратичное значение вертикальных смещений секции (мк),  $q$  — измерено в  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Наибольшие стандарты вертикальных вибраций секций плотины в начальный период эксплуатации были зафиксированы в 1957 г. и составили:  $Z' = 25,8 \text{ мк}$  при  $q = 36,2 \text{ м}^2/\text{с}$  и при коэффициенте подтопления гидравлического прыжка в нижнем бьефе плотины

$D_0 = 1,1$ . Все результаты амплитудных оценок вибрации секции №10 по исследованиям 1957-60 гг. [3] приведены на рис. 8. Сравнение данных измерений, выполненных через 20 лет, в 1979-80 гг., показывает на некоторое увеличение эффективной жёсткости системы — стандарты вибрации стали заметно ниже. Наблюдения, проведённые в 1957 — 1960 гг. показали, что автокорреляционная функция вертикальных вибраций секции плотины оказывается различной при равномерном открытии пролетов плотины и при полностью открытом одном пролете (рис. 22 в [3]). В последнем случае автокорреляция быстро затухает. Техника статистической обработки данных, применявшаяся автором [3], не позволила обнаружить явление биения — автокорреляционная функция была рассчитана только до  $\tau = 1,1$  с. По виду автокорреляционной функции можно утверждать, что максимум спектральной плотности вибраций для изученной в то время секции 10 при «синхронизированных» вибрациях должен был наблюдаться на частотах  $2,2 \div 2,5$  Гц (большие частоты при меньших амплитудах).

При сбросе воды через один пролет период собственных колебаний этой секции, соответствующий максимуму спектральной плотности (менее острому, чем в предыдущим случае), составлял около 0,65 с, что соответствует частоте около 1,5 Гц. Сравнение частот показывает, что за 20 лет эксплуатации гидроузла произошли какие-то изменения в системе. Различия между колебаниями, возбуждаемыми сосредоточенным и распределённым сбросами, уменьшились. Если частоту 1,5 Гц, зафиксированную в [2], относить к секции, то можно констатировать увеличение жёсткости основания примерно на 20% (изменение частоты от 1,5 до 1,66 Гц (на 10%) эквивалентно изменению модуля упругости на 20%). Эта тенденция согласуется с результатами сравнения, показанными на рис.8. Хотя количественного совпадения нет, амплитуды вибраций упали относительно резко. Этот вопрос также, как и причины резкого различия спектра частот колебаний при равномерном и неравномерном сбросе (в опытах 1957-60 гг.), требуют дополнительного анализа.

Независимо от результатов этого анализа можно дать уверенный прогноз амплитуды колебаний при высоких расходах:

амплитуды колебаний отдельных секций плотины практически определяются удельным расходом, сбрасываемым через секцию. При максимальном удельном расходе стандарт вибрации секции может достигать 20 мк;

схема сброса паводка влияет на фазовые соотношения колебаний секций: при равномерном сбросе расхода возможна самосин-

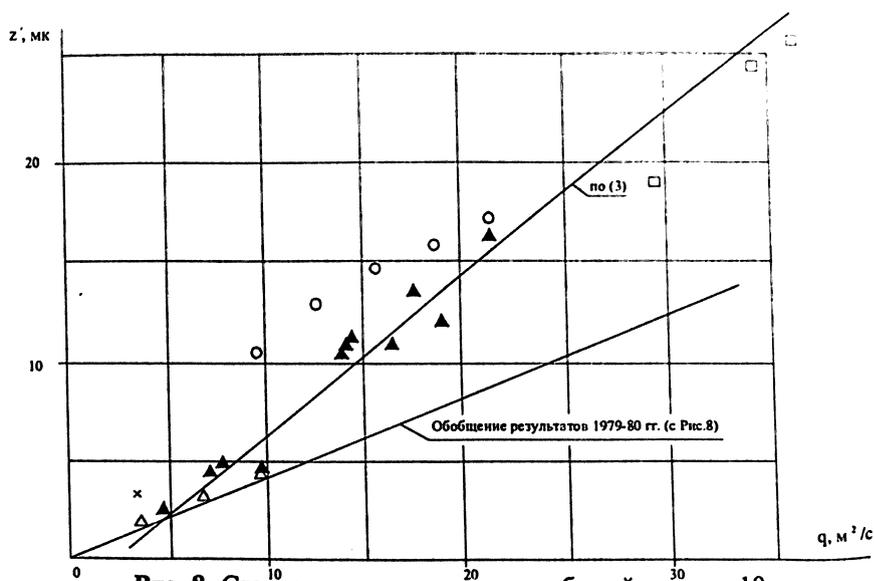


Рис. 8. Стандарт вертикальных колебаний секции 10 (по измерениям в 1957-60 гг. [2, 3])

хронизация колебаний, при неравномерном сбросе возможно взаимное гашение колебаний. Эти эффекты могут вызвать отклонение в стандарте вибраций отдельных секций, не превышающее 30% от максимальной оценки стандарта ( $\pm$  от среднего). Увеличение (или уменьшение) стандарта вибраций за счёт согласования или рассогласования колебаний не превысит 6 мк;

более важным результатом самосинхронизации колебаний может явиться изменение условий распространения возмущений от плотины. При несинхронных колебаниях секций эти возмущения затухают на расстоянии  $4 \div 5$  характерных размеров секции, т.е. на расстоянии около 0,3 км. В случае самосинхронизации колебаний соответствующее расстояние увеличится в  $19 \div 20$  раз.

#### **Колебания грунта за пределами плотины**

Возникновение синфазных колебаний плотины с максимальными амплитудами означает, что в определенные интервалы времени продолжительностью  $1 \div 4$  периода колебаний плотина (секции и водобой) колеблется как единой штамп. При этом от длины такого штампа будет зависеть характер и форма упругой волны. При равномерном открытии затворов по фронту плотины в грунте периодически возникают плоские волны, не перерождающиеся в сферические до подхода к жилым домам. Как известно [1],

это имеет место, если расстояние от источника возмущения не превышает трех длин штампа. С уменьшением фронта больших открытий затворов волны в грунте до подхода к жилым домам приобретают сферическую форму и интенсивно затухают. При открытиях по схеме 3 (отдельные струи) наличие двух или трех источников создает 2 (или 3) основные сферические волны, интерферирующие соответственно фазовым состояниям в точке встречи. Измерения колебаний поверхности грунта производились около жилых домов и на свободной незастроенной территории.

Характер процесса колебаний грунта с удалением от водосливной плотины меняется от случайного квазистационарного до появления синусоидальных фрагментов. Спектральный анализ колебаний скорости грунта показал, что диапазон спектра довольно широк от 1,1 до 2,5 Гц. Однако основные колебания совершаются на частоте 1,5-1,6 Гц. На расстояниях от 1,5 км до 5,5 км от плотины (по её оси) поперечные и продольные компоненты смещений грунта почти одинаковые. В 1,5 км от плотины стандарт скорости колебаний грунта составил 0,06 мм/с. В районе жилых домов интенсивность колебаний грунта, характеризуемая стандартами скорости перемещения, падает в 2 раза — до 0,035 мм/с.

Наибольший уровень вибрации здесь зарегистрирован при режиме 2 (схема 1) —  $V' = 0,042$  мм/с. Наименьший при пропуске расхода по схеме 3 режим 5 —  $V' = 0,016$  мм/с.

Здесь  $V'$  — стандарт горизонтальной компоненты скорости движений грунта.

Затухание колебаний поверхности упругого полупространства при колебаниях жёстких (и гибких) штампов различной формы подробно изучалось теоретически и экспериментально [1]. Установлено, что уменьшение амплитуды колебаний поверхности грунта по мере удаления от штампа может быть описано в виде [1]

$$\frac{z'}{z'_0} = \left( \frac{x}{2l} \right)^{-\psi}, \quad (4)$$

где  $2l$  — ширина (или длина) штампа,  $x$  — расстояние от центра штампа. Из (4) получаем

$$\log z' = C - \psi \log x \quad (5)$$

Здесь по оценкам [1] показатель степени  $\psi$  зависит от формы штампа в плане и спектрального состава колебаний, оставаясь в диапазоне

$$0,5 \leq \psi \leq 2 \quad (6)$$

На рис. 9 в координатах, соответствующих (4), представлены относительные результаты измерений стандарта колебаний скорости поверхности грунта, проведённых на расстояниях 1,5 и 4 км от центра колеблющихся четырех секций плотины вдоль её оси в режиме 3 (пустые точки) шкала I. Там же показаны результаты измерений, опубликованные в [2], при распространении колебаний от одной секции плотины (чёрные точки, шкала II). В обоих случаях возможна аппроксимация (5) при условии (6), однако коэффициент  $\psi$  оказывается существенно разным. Для линии I (синхронные колебания группы секций) он чуть больше  $\psi = 0,5$ , а для линии II (колебания одной секции) близок к  $\psi = 1$ .

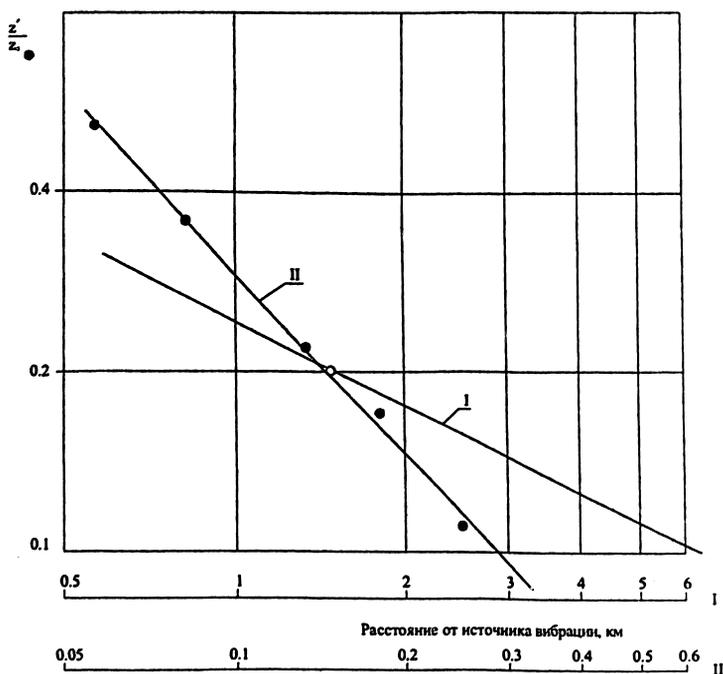


Рис. 9. Относительная величина стандартов вибрации на разном расстоянии от источника

Причины различия могут быть связаны с разной формой штампа. Независимо от этого, можно утверждать, что при колебаниях одной секции снижение амплитуды вибраций поверхности грунта

на порядок (в 10 раз) имеет место на расстояниях  $\sim 0,3$  км, а при колебаниях плотины в целом (или большей ее части) — на расстояниях до  $6 \div 7$  км.

На рис. 10 показана спектральная плотность колебаний скорости грунта на расстоянии 1,5 км от плотины. Максимум спектра наблюдается на частоте около  $1,5 \div 1,6$  Гц, что соответствует частоте собственных колебаний секций плотины.

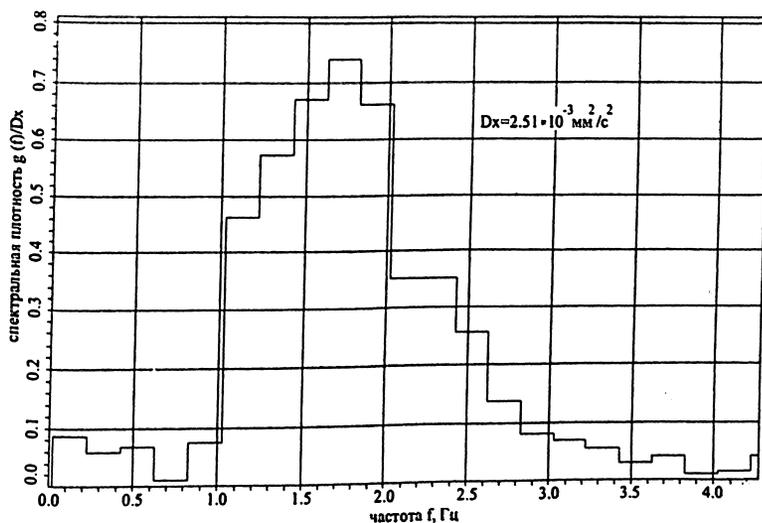


Рис. 10. Спектр вибрации «свободного» грунта в 1,5 км от центра плотины. Режим 3

### Вибрация жилых домов

Источником вибрации жилых домов является интенсивное колебание сооружений водосливной плотины. Такое заключение сделано на основании следующих наблюдений:

появление вибрации домов и наибольшие перемещения верхних этажей совпадают с началом паводка и с его пиком;

снижение уровня вибрации домов совпадает с уменьшением расхода через плотину;

колебания грунта затухают с удалением от плотины;

синхронная запись колебаний плотины и грунта (около дома на улице Носова) показала, что в периоды самосинхронизации колебаний секций плотины резко усиливаются колебания грунта около жилых домов (с некоторым фазовым сдвигом, соответствующим времени добегающего поверхностных волн).

Были обследованы четыре 9-этажных крупнопанельных здания и один 14-этажный каркасно-панельный дом в районе жилой застройки, расположенной на левом берегу Волги в  $2 \div 4$  км от плотины. Адреса и размеры домов (в плане) следующие:

*9-этажные дома:*

1. Матросова, 30 —  $158,5 \times 11,5$  м<sup>2</sup>;
2. Матросова, 21 —  $133,0 \times 11,5$  м<sup>2</sup>;
3. Мурысева, 92 —  $153,5 \times 11,5$  м<sup>2</sup>;
4. Лосева, 21 —  $60,0 \times 18,0$  м<sup>2</sup>;

*14-этажный дом*

5. Чайкиной, 73 —  $38,0 \times 16,0$  м<sup>2</sup>.

Панельное здание большой этажности работает как составная система, где значительную роль играют связи, стыковые соединения и пр. Отдельные диафрагмы и рамы соединены поперечными связями значительной жёсткости; каждая диафрагма деформируется по упругой линии, определяемой условиями стесненной деформации в наборе всех несущих элементов здания, при этом наибольшее влияние на вид упругой линии оказывают жёсткие элементы. При колебаниях прогибы зданий формируются с участием значительного количества факторов: изгибной и сдвиговой жёсткостей сплошных участков стен, жёсткостей и влияния связей, сдвига и поворота основания.

Виброиспытания зданий в районах с повышенной сейсмичностью показали, что упругие линии вертикальных сечений в большинстве случаев либо не имеют каких-либо ярко выраженных закономерностей, приближаясь к прямым, либо характеризуются наличием двойкой кривизны — с вогнутостью в нижней и выпуклостью в верхней части здания.

Дом №30 по ул. Матросова был обследован наиболее детально. В этом доме и в 9-этажном доме по улице Носова зарегистрирована скорость колебаний первого и девятого этажей и грунта в 10 м от здания по трем компонентам — вертикальной Z и горизонтальным, вдоль и поперёк здания, Y и X. Вертикальные колебания практически не изменяются от первого до девятого этажа. Наибольшие перемещения совершает 9-й этаж в плоскости наименьшей жёсткости дома — XY. Колебания имеют вид биений с основной частотой 2,1 Гц и с периодом биений 3 — 6 с.

Для колебаний в плоскости наименьшей жёсткости соотношение максимальных амплитуд колебаний на верхнем этаже и в основании составляет около 5. Дом № 30 по улице Матросова, вследствие низкого демпфирования, имеет самый высокий коэффициент динамич-

ности — 9,5. Размах перемещений в этом доме на 9-м этаже достигал 165 мк (рис. 11). На записях колебаний девятого этажа видно, что вертикальные толчки с частотой 1,4 Гц предшествуют резонансной раскачке здания в направлении наименьшей жёсткости.

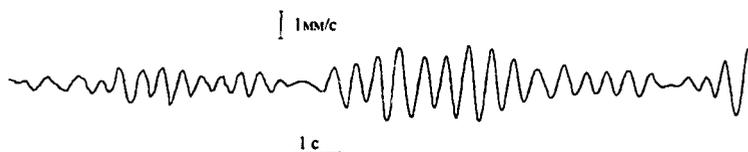


Рис. 11. Горизонтальные колебания 9-го этажа жилого дома: ул. Матросова, 3

Амплитудно-спектральный анализ колебаний первых и последних этажей обследованных домов показал, что конструкции домов — острорезонансные системы, совершающие колебания на собственной изгибной частоте в плоскости наименьшей жесткости. Эти частоты для 9-этажных домов составили  $2,2 \div 2$  Гц (рис. 12), для 14-этажного дома — 1,35 Гц. Кроме того, наблюдается большой вклад в дисперсию смещений на частотах 1,5 и 1,8 Гц. Можно предполагать, что 1,5 Гц — это преобладающая частота колебаний грунта, а 1,8 Гц — одна из частот крутильных колебаний дома.

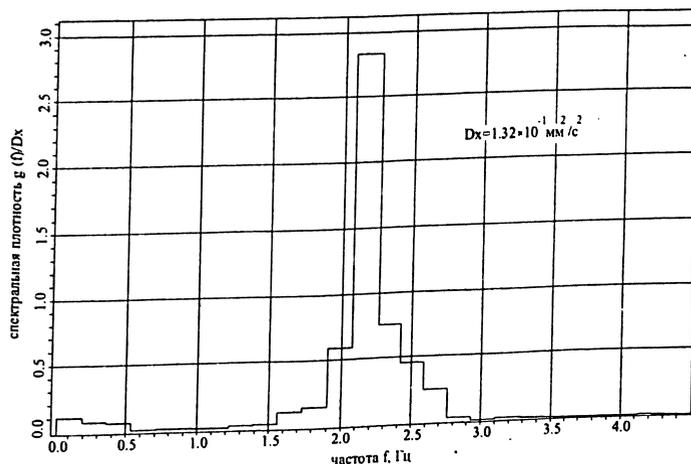


Рис. 12. Спектр вибрации жилого дома (ул. Матросова, 30, 9-й этаж)

На уровень вибрации домов влияют несколько факторов, основными из которых являются:

суммарный расход через плотину;

схема открытия пролетов, определяющая размер штампов, порождающих волны в грунте, по-разному затухающие с расстоянием;

близость частот воздействия и собственной частоты дома.

Интенсивность вибрации домов, как видно из рис. 13, снижается с уменьшением расхода через плотину для разных домов по-разному. Наиболее высокая связь вибрации с уменьшением расхода — у дома №30 по улице Матросова.

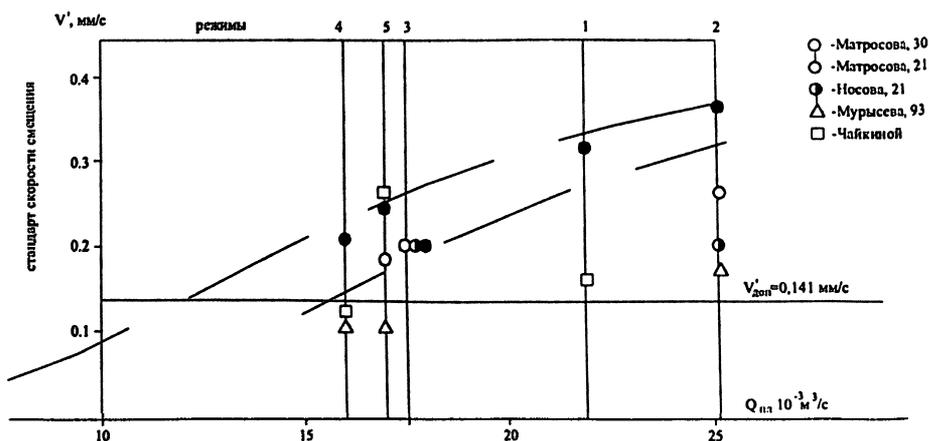


Рис. 13. Изменения уровня вибрации верхних этажей жилых домов с изменением расхода через плотину

В режимах с возможным маневрированием затворами наиболее оптимальным является вариант сброса воды по схеме режима 2 с концентрацией расхода в 2 ÷ 4 пролетах, наиболее удалённых от левого берега.

Согласно «Санитарным нормам допустимых вибраций в жилых домах» № 1304-75 от 13.06.75 уровень виброскорости на среднегеометрической частоте активной полосы в 2 Гц не должен превышать 79 ДБ или 0,45 мм/с.

В случае непостоянных вибраций, амплитуда которых меняется более чем на 40%, допустимый уровень снижается. Записи вибраций домов показывают, что вибрацию домов следует отнести к непостоянной (меняющейся во времени), для которой допустимое среднеквадратичное значение скорости составляет 0,14 мм/с.

На рис. 13 показаны стандарты колебаний скорости движения верхних этажей различных домов при различных режимах работы плотины. Верхняя линия оценивает значения стандартов в самых неблагоприятных домах при неблагоприятных режимах, нижняя линия — то же при оптимизированном режиме маневрирования затворами.

Как видно из рис. 13, допустимый уровень вибрации не будет превышен при суммарном расходе через плотину, меньшем  $12\ 000\ \text{м}^3/\text{с}$  практически при любой схеме маневрирования затворами (в пределах, допускаемых существующей инструкцией по маневрированию).

При расходах через плотину, больших  $16\ 000\ \text{м}^3/\text{с}$ , найдутся дома, в которых колебания превысят санитарную норму даже при оптимальном режиме маневрирования.

В диапазоне расходов от 12 до 16 тыс.  $\text{м}^3/\text{с}$  оптимальным маневрированием затворов можно достигнуть выполнения санитарных норм практически во всех домах г. Тольятти.

### **Выводы**

1. Вибрация каждой секции плотины при сбросе паводковых расходов содержит две компоненты — непосредственно связанную с расходом воды, сбрасываемым через рассматриваемую секцию и вызывающим пульсирующие гидродинамические нагрузки, и компоненту, связанную с влиянием соседних секций, колеблющихся на общем упругом основании.

2. Среднеквадратичное значение (стандарт) вибрационного смещения отдельных секций плотины определяется, в основном, удельным расходом воды, сбрасываемым через эту секцию. При максимальном удельном расходе стандарт вертикальной вибрации плотины может достигать 20 мкм.

3. Схема сброса паводка влияет на фазовые соотношения колебаний секций. При равномерном (или близком к равномерному) распределении расхода по фронту плотины происходит самосинхронизация на частоте  $1,5 \div 1,6$  Гц. При неравномерном сбросе по оптимизированной схеме маневрирования затворами возможно взаимное гашение колебаний.

Эти эффекты могут вызвать: отклонение в стандарте вибраций отдельных секций, не превышающее 6 мкм; заметное изменение вида колебаний; изменение соотношения между максимальным и среднеквадратичным смещениями.

4. Наиболее важным следствием самосинхронизации колебаний является изменение условий распространения возмущений

от плотины. При синхронизированных колебаниях заметные вибрации, превышающие 0,1 от вибраций плотины, могут наблюдаться на расстояниях до  $6 \div 7$  км от плотины. Возмущения от колебаний отдельной секции затухают на расстоянии менее 0,5 км.

5. Изменение характеристики собственных колебаний секций плотины и стандартов вертикальных вибраций по сравнению с данными, полученными в 1957-60 гг., свидетельствует об увеличении жёсткости основания плотины.

6. Вибрации домов в г. Тольятти, отмеченные при пропуске паводка 1979 г., связаны с вибрациями плотины. Эти вибрации домов не выходят за пределы, допустимых санитарными нормами, при расходе через плотину, меньшем  $12000 \text{ м}^3/\text{с}$ , практически при любой схеме маневрирования затворами (в пределах, допускаемых действующей инструкцией).

7. При расходах через плотину в пределах от 12 до 16 тыс.  $\text{м}^3/\text{с}$  маневрированием затворами можно снизить уровень вибрации верхних этажей жилых домов до санитарных норм. Оптимизированная схема открытия затворов основана на соблюдении следующих условий:

открытие затворов свыше 2 м начинать от середины плотины к правому берегу;

сброс расходов при открытиях свыше 2 м необходимо производить концентрированно, с максимальной неравномерностью открытия, допускаемой действующей инструкцией по маневрированию. Число пролетов с наибольшим открытием на участке концентрированного сброса не должно быть более трех;

концентрированный сброс производится двумя фронтами: центр первого располагается в срединных пролетах плотины, второго - через 10 пролетов в сторону правого берега.

8. При расходах через плотину более  $16000 \text{ м}^3/\text{с}$  маневрирование затворами неэффективно. Поэтому неизбежно найдутся дома, в которых уровень вибрации превысит санитарные нормы.

Повышенный уровень вибрации таких домов связан с их расположением относительно центра плотины, повышенной этажностью и плановой ориентировкой по отношению к створу плотины. Снижение уровня вибрации домов, ориентированных к фронту плотины стороной с наименьшей жёсткостью (дом №30 по ул. Матросова), возможно повышением изгибной жёсткости зданий. Например, возведением дополнительных строений, расположенных нормально к длинной стороне домов и оборудованных жёсткими специальными связями.

Администрации г. Тольятти при закладке новых жилых домов Комсомольского района необходимо соблюдать следующие ограничения:

запретная зона для строительства 9-этажных домов, расположенных параллельно створу плотины, очерчивается от центра плотины радиусом 4,6 км;

запретная зона для строительства 9-этажных домов, расположенных перпендикулярно створу плотины, очерчивается от центра плотины радиусом 3,7 км;

аналогичные зоны для строительства 5-этажных домов имеют, соответственно радиусы 2,5 км и 2,0 км;

радиус запретной зоны для строительства 14-этажных зданий, квадратных в плане, составляет 4,3 км.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Динамика сплошных сред в расчётах гидротехнических сооружений. Под редакцией В.М. Лятхера и Ю.С. Яковлева. М.: «Энергия». 1976.
2. Волжская ГЭС им. В.И. Ленина. т.1. Описание сооружений гидроузла. Под редакцией Малышева Н.А. и Саруханова Г.Л., М.: «Энергия». 1963.
3. Максимов Л.С. Пульсация давления на водобое и колебания водосливных плотин. Труды Гидропроекта. сборник 7. М. 1962.

### **ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ КРЕПЛЕНИЯ БЬЕФОВ И РУСЛ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СПОСОБОМ ПЛОЩАДНОЙ СЪЁМКИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ «КРИТЕРИЯ ИЗУЧЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ»**

*Овчаров В.Н., инженер, ЗАО «Аверс»*

За годы длительной эксплуатации гидроузлов, возведённых на нескальных основаниях, в их нижних бьефах произошли значительные местные размывы неукреплённых участков отводящих русел и повреждения концевых участков креплений (разрушение ковшей, подмыв и деформации бетонных плит). Основные повреждения, произошедшие, как правило, в пуско-наладочный период работы гидроузлов, в дальнейшем продолжали развиваться даже в условиях отсутствия в период эксплуатации сбросов в нижний бьеф значительных расходов воды, приближающихся к расчетным.

На гидроузлах Волжско-Камского каскада наиболее высокие паводки были в 1,5 — 2 раза ниже расчётных [1].

Например, максимальный расход, пропущенный через Саратовский гидроузел, составил 39 000 м<sup>3</sup>/с (1979 г.) при значениях основного расчётного расхода 64 000 м<sup>3</sup>/с.

Мониторинг результатов эхолотной съёмки в нижних бьефах гидроузлов Волжско-Камского каскада показал, что более чем за 30 лет эксплуатации *глубина местных размывов* неукреплённых участков русла ниже крепления *достигла или даже несколько превысила* значения, которые, как предполагалось, могли быть достигнуты только при пропуске расчётных паводков и в расчёте на которые были запроектированы энергогасящие конструкции нижнего бьефа водопропускных сооружений: водобой, рисберма, ковш (рис. 1).

Сложившаяся ситуация даёт основание для беспокойства о возможных катастрофических последствиях пропуска паводков с расходами, близкими к расчётным.

Применяемые в настоящее время эксплуатационными службами ГЭС методы наблюдений и производства русловых съёмок на основе традиционного оборудования и методов морально устарели и не могут удовлетворять требованиям закона о безопасности сооружений к достоверности результатов обследований. Если коэффициент взаимной корреляции между галсами при эхолотной съёмке *для неукреплённых участков русла достигает 0,6 — 0,8* в зависимости от частоты промера и состава грунтов, то для креплений *защищённой части* дна и откосов он *не превышает 0,15*. Это свидетельствует о *высокой вероятности пропуска морфологических признаков деформаций подводной поверхности, соизмеримых по размерам с выбранными междугалсовыми расстояниями*.

Использование результатов подобных съёмок приводит к большим неточностям при определении фактического состояния объекта, а при вводе в систему автоматического контроля — *к искажённому анализу и ошибочному определению уровня безопасности гидроузла*.

Опыт 12-летней работы «Аверс» [1] в области эксплуатационной безопасности на гидроузлах, входящих в состав Днепровского, Днестровского, Волжско-Камского и Свирского каскадов, позволяет обоснованно утверждать о необходимости проводить дальнейшие подводно-технические обследования гидроузлов на основе концепции критерия изученности подводной поверхности.

Под *критерием изученности* подводной поверхности понимается вероятность обнаружения всех морфологических признаков деформации подводной поверхности, влияющих на уровень эксплуатационной безопасности данного объекта.

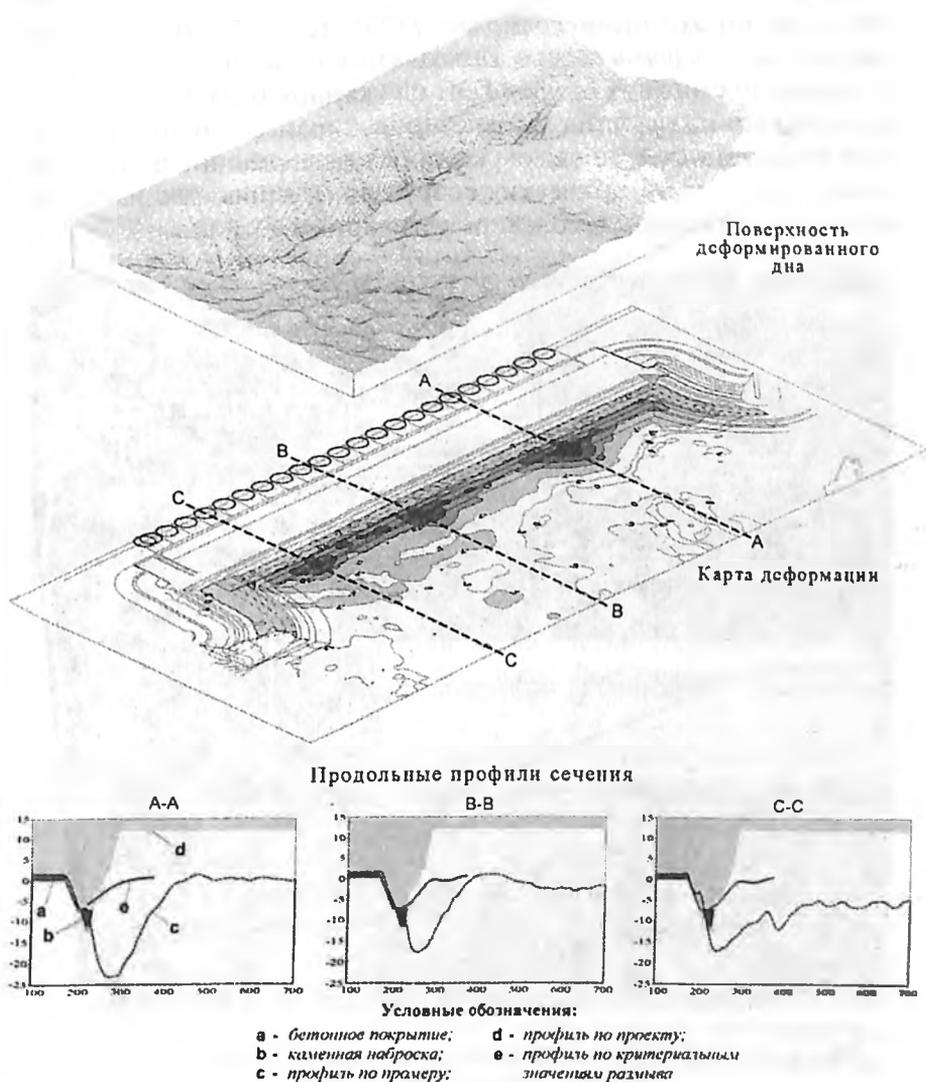


Рис. 1. Нижний бьеф Саратовской ГЭС по результатам обследования 1999 г.

При гидрографических способах обследования гидротехнических сооружений на гидроузлах 1-го и 2-го классов достоверность результатов съёмки должна быть не ниже 95%, что регламентируется требованиями стандартов международной гидрографической организации (МГО) к объектам повышенной ответственности [2].

Так как получить результаты такой достоверности с помощью однолучевого эхолота невозможно [3, 4], то необходимо применять способ *площадной съёмки*. Использование данного способа для обследования нижних бьефов ГЭС на указанных каскадах позволило «Аверс» на практике выявить (рис. 2) ранее необнаруживаемые существующей системой контроля деформации подводной поверхности гидротехнических сооружений, влияющие на оценку эксплуатационной безопасности гидроузла.

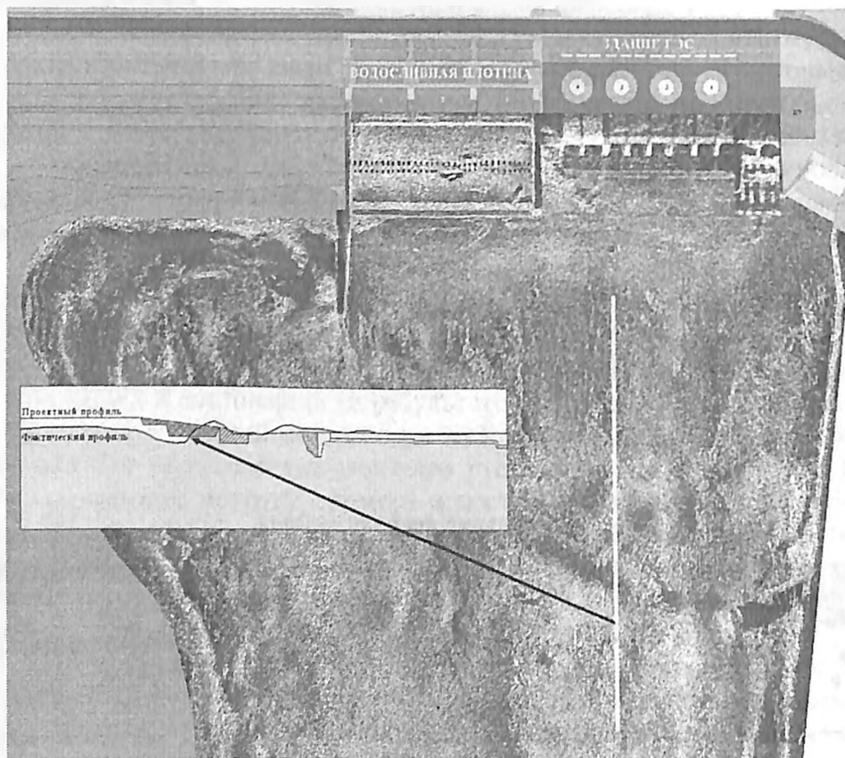


Рис. 2. Акустическое изображение подводной поверхности нижнего бьефа Верхне-Свирской ГЭС

Для того чтобы в соответствии с Правилами технической эксплуатации [5] осуществлять *реальный контроль* за показателями состояния подводной поверхности гидротехнических сооружений, необходимо переходить к современным единым *стандартам достоверности результатов* проводимых обследований. К тому же, наличие стандартов достоверности для каждого класса и типа ГЭС даст специализированным организациям возможность выбора тех-

нических средств и методик, позволяющих выполнять требования указанных стандартов при проведении подводно-технических обследований. Это позволит не только определять фактическое техническое состояние объекта на момент проведения съёмок, но и получать необходимый материал для прогнозирования развития процессов переформирования поверхности дна в целях оптимизации эксплуатационных режимов.

Система контроля состояния подводных поверхностей ГТС, основанная на принципе «Критерия изученности поверхности», позволяет решать вопросы не только обеспечения гарантированной эксплуатационной безопасности ГЭС, но и является одной из составных частей в разработке эффективной, антитеррористической защиты гидроузлов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Отчеты** ЗАО «Аверс».
2. **Стандарты** МГО на гидрографические съёмки. Спец. публикация № 44. 4-е издание. Апрель 1998 г. Монако.
3. **Правила** гидрографической службы (ПГС № 4, часть 1).
4. **Правила** гидрографической службы (ПГС № 37).
5. **Извещение** № 1 об изменении правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации РД 34.20.501-95.

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Власов В.М., кандидат техн. наук (ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»),  
Ильяхин В.Н., Болтинцев В.Б., Кондратенко П.В.,  
инженеры (ЗАО НПФ «Геодизонд»)*

Метод сверхширокополосного импульсного зондирования (СШПЗ) заключается в распространении электромагнитных импульсов наносекундной длительности большой мощности, приеме отраженного сигнала и его математической обработке. Аналогом данного метода можно считать сейсмозондирование акустическими волнами.

Использование метода СШПЗ для изображения структуры обследуемого сооружения и основания основано на представлении структуры по данным отраженного сигнала.

Российскими геофизиками, в частности сотрудниками научно-производственной фирмы «Геодизонд» (Санкт-Петербург),

достигнуты в области СШПЗ значительные успехи, основанные на создании и применении новой техники и новых технологий.

Благодаря созданию *уникальной математической модели* распространения электромагнитного импульса через твердые среды и применению в составе измерительной аппаратуры *специального мощного генератора наносекундных импульсов*, стало возможным посредством метода СШПЗ получать и качественно интерпретировать отраженный электромагнитный сигнал с глубины до 100 м. В настоящее время в научно-производственной фирме «Геодизонд» разрабатывается вариант измерительного комплекса для работы на глубинах более 100 м.

За десятилетний этап геофизических работ, проведенных на многочисленных объектах как Российской Федерации, так и ряда зарубежных государств, накоплена представительная база данных, что позволяет на сегодняшний день достаточно уверенно распознавать различные инженерно-геологические элементы на слабоизученных площадях.

Благодаря небольшим размерам измерительных узлов, компактности и автономности питания, а также помехозащищенности комплекса от внешнего рассеянного электрического поля работы могут проводиться в городских условиях и в труднодоступных местах. Это делает метод в некоторых случаях просто незаменимым.

Проведено большое количество работ: по обследованию инженерных сооружений — фундаментов и несущих конструкций зданий, автодорожных и железнодорожных тоннелей, мостов, мостовых переходов, коллекторов и т.д.; по геологическому картированию слоев; по выявлению водоносных горизонтов и тектонических нарушений; по опережающему геолого-геофизическому обследованию забоев тоннелей и оценки состояния выработки за элементами обделки; по выявлению дефектов в сложных гидротехнических сооружениях (плотинах, портовых и береговых сооружениях и т.п.), в сваях, фундаментах и других железобетонных конструкциях; по обнаружению и прослеживанию промышленных трубопроводов, проложенных как в земле, так и по дну водоемов; по определению характера расположения подземных инженерных сооружений и коммуникаций, а также захороненных археологических объектов; по обследованию месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых; по определению скрытых площадей, загрязненных нефтепродуктами и химическими отходами.

В качестве наиболее важных объектов, на которые привлекался и внес полезный вклад метод СШПЗ, разработанный фирмой «Гео-

дизонд», следует отметить Западно-Сибирский металлургический комбинат в г. Новокузнецке (оценка состояния дамбы гидроотвала), крупнейший в России Северомуйский железнодорожный тоннель в Республике Бурятия (протяженность тоннеля более 15 км), нефтедобычная платформа на шельфе Балтийского моря (Калининградская область), автодорожные тоннели на обходной автодороге в г. Сочи, многочисленные мостовые сооружения в Московской области, в городах Москве (Большой Каменный и др.) и Санкт-Петербурге (Аничков, Пантелеймоновский), а также обследование геологических условий по трассам нефтепроводов корпорации «Транснефть» в различных регионах России.

В последнее время СШП метод активно привлекается к прогнозу условий под строительство инженерных сооружений главным образом с целью обнаружения и оконтуривания карстовых полостей и пустот. Основным успехом при подобных исследованиях можно считать выявление карстовых образований размерами первые десятки сантиметров на глубинах 35 – 40 м.

В ряде случаев проведенное своевременное обследование позволило предотвратить возможные аварии и тем самым избежать человеческих жертв.

Рабочий комплект полевой аппаратуры состоит из следующих частей:

генератора, имеющего длительность импульсов 1 – 10 нс, пиковую мощность до  $10^6$  Вт, тактовую частоту следования импульсов 10 КГц. Создание подобных генераторов стало возможным благодаря разработанным в России новым полупроводниковым замыкающим ключам, по основным характеристикам на порядки превосходящие зарубежные ключи аналогичного класса;

приемно-передающих широкополосных — с полосой частот  $10^5$  –  $10^9$  Гц — антенн, имеющих хорошее согласование с передающими трактами и высокую чувствительность к принимаемому сигналу;

приемно-регистрирующего блока с высокой помехозащищенностью, обеспечивающего запись и накопление принимаемых сигналов в полевых условиях.

Весь комплекс полевой аппаратуры может питаться от постоянного напряжения 12 В или от сети переменного напряжения 50 Гц, 220 В. Потребляемая мощность — не более нескольких сот ватт. Вес комплекса порядка 10 кг (рис. 1).

Весь процесс зондирования одной точки занимает несколько секунд. По одной точке зондирования можно построить разрез среды в данном месте. Для получения протяженного разреза необ-

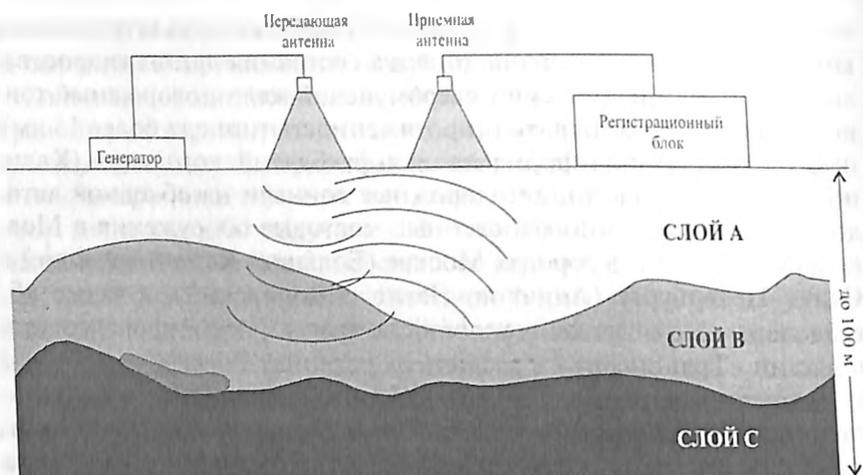


Рис. 1. Схема работы комплекса СШПЗ

ходимо провести зондирование в нескольких точках. Необходимое количество точек зондирования определяется следующими условиями: требуемой детальностью разреза, видом и размерами обследуемого объекта (геологический разрез, фундамент сооружения, свая, карстовая полость и т.д.), глубиной зондирования.

Комплекс обладает уникальными возможностями проведения измерений: в отличие от многих геофизических приборов, зондирование СШП аппаратурой подповерхностных структур выполняется как с грунтовой поверхности, так и на водоемах с плавсредств; измерения могут выполняться через слой речной и морской воды, через глину, через железобетонные и чугунные тубинги обделки тоннелей.

Совершенствование метода СШПЗ продолжается. В частности методом СШПЗ было выполнено геофизическое обследование бетонной кладки плотины Бурейской ГЭС.

- вибрированный бетон наружной зоны плотины;
- укатанный бетон низового клина;
- вибрированный бетон переходной зоны, укладываемый послойно.

Так как бетоны этих зон имеют свои специфические особенности, для комплексной оценки качества бетона и бетонной кладки плотины и для получения более полной информации по прочности и плотности наряду с испытанием кернов было предусмотрено использование относительно нового метода обследования инженерных сооружений — метода СШПЗ.

Геофизическое обследование выполнялось посредством фиксированных вертикальных измерений в точках, расположенных в прямом контакте с бетонной поверхностью блоков бетонирования на отметках 181,0 – 196 м, а также фиксированным горизонтальным измерением со стенок из галерей №4 и №5. Общее количество пунктов измерений – 20 точек зондирования.

После математической обработки измеренных СШП сигналов были получены автокорреляционные (АК) и взаимокорреляционные (ВК) функции отраженного сигнала высокочастотной и низкочастотной полос спектра в точках зондирования. На основании собственных признаков АК- и ВК функций отраженного сигнала тело плотины по лучу зондирования было разбито на определенные интервалы, в которых бетон по характерным графикам функций в этих интервалах обладает определенными устойчивыми физико-техническими характеристиками.

В пределах выделенных интервалов (зон) бетон принимается за партию с определением средней прочности  $R'_m$  и коэффициентом вариаций прочности  $V'_m$ . Такой выбор зон позволил минимизировать коэффициент вариации прочности бетона по различным маркам. Так, например, бетон класса В15 W8 первого и пятого столба плотины по данным бурения секций 15-1; 16-1; 17-1; 18-1; 19-1; 20-1; 22-1; 30-V имеет среднюю прочность  $R_{cp} = 28,45$  МПа и средний коэффициент вариации  $V_{cp} = 21,9\%$ .

Была составлена сводная таблица прочности кернов и характеристик сигналов СШПЗ по всем секциям, в которых проводились как бурение, так и СШПЗ.

Изучение и анализ картин сигналов АК- и ВК функций совместно с данными испытаний кернов показали, что сближение вплоть до слияния графиков АК- и ВК функций соответствует одинаковым (близким) свойствам отражения сигналов  $A'_n$  — метрового (низкой частоты) и  $A''_n$  — дециметрового (высокой частоты) диапазона, что свидетельствует об однородности бетона.

Расхождение сигналов, выражающееся в формировании разнообразных картин графиков АК- и ВК функций, свидетельствует о неоднородности бетона различной степени и различной природы.

Например, в точке зондирования 3 в секции 17-1-2 (рис. 2) в отраженных сигналах представлен ряд состояний бетона:

IV — в интервале, имеющем отметки 151 – 157 м, графики АКФ и ВКФ почти сливаются  $\Delta A = 0,11$ , где  $\Delta A = |A'_n - A''_n|$  — среднее значение сигнала в зоне; здесь отмечается довольно высокая прочность — 37,5 МПа;

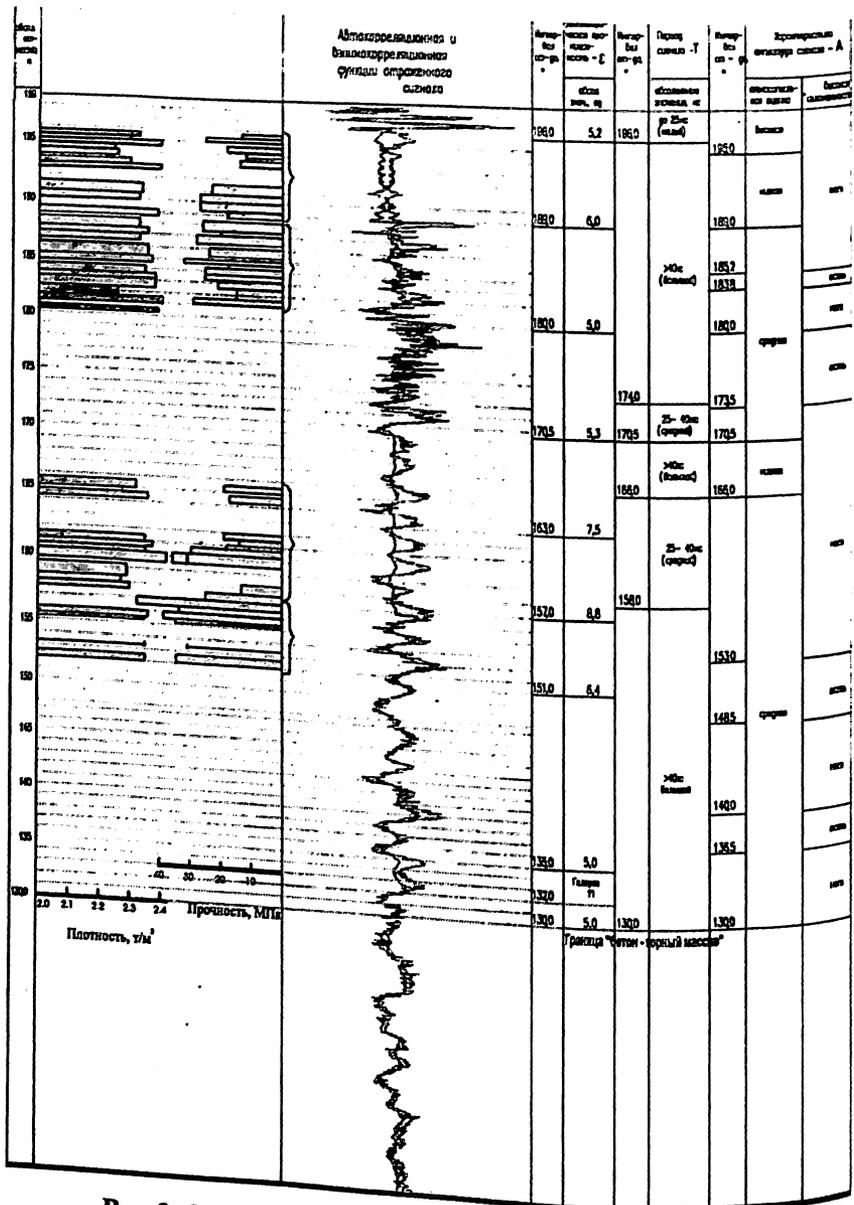


Рис. 2. Сопоставительные данные испытаний кернов и СШПзондирования ТЗ-3, секция 17-1-2

III — на отметках 157 — 166 функции имеют большой размах амплитуды  $\Delta A = 0,33$ , причем АКФ дециметрового диапазона имеет небольшую величину и амплитуду, что обычно свидетельствует о повышенной пористости бетона; этой зоне соответствует меньшая прочность — 21,3 МПа;

IIIa — на отметках 172 — 180 м отмечается высокая изломанность сигнала, графики функций сливаются и имеют малую разность амплитуд  $\Delta A = 0,2 + 0,18$ . Скачки амплитуды означают, что бетон по составу неоднороден, чередуются области с преобладанием крупного заполнителя и области с преобладанием растворной части. В этой зоне нет выбуренных кернов и прочность бетона будет определена по тарировочным зависимостям;

II — на отметках 180 — 189 м отмечается высокая изменчивость графика АКФ дециметрового диапазона, который отображает структуру растворной части (включая пористость), в то время как амплитуда ВКФ имеет более устойчивый характер. Разность амплитуд достаточно большая  $\Delta A = 0,39$ . Прочность составила 24,92 МПа;

I — на отметках 189 — 196 функции имеют небольшую разность амплитуд  $\Delta A = 0,12$ . Но одновременно в этом интервале отмечается очень низкое среднее значение суммы амплитуд —  $\Delta A = 0,142$ , что говорит о повышенной пористости бетона. Экспериментальные дан-

ные подтверждают низкую плотность —  $\frac{2,31 \cdot 3 + 2,321 \cdot 8}{3 + 8} = 2,32 \text{ т/м}^3$

и прочность 20,74 МПа в этой зоне бетона.

На рисунках 3 и 4 построены тарировочные зависимости прочности кернов  $R$  от величины  $\Delta A$ ,  $R = f(\Delta A)$ , для бетонов классов В15W8 вибрбр. и В10<sub>365</sub> ОЖБС укатанный в соответствии с данными сводных таблиц прочности кернов и характеристик СШПЗ.

Пунктиром обозначены значения  $R^{\text{нр}} = f(\Delta A)$  для прочности кернов, приведенных к воздушно-сыхому состоянию, что возможно несколько выше реальной прочности. Сплошной линией обозначены зависимости  $R^{\text{нск}} = f(\Delta A)$ , которые соответствуют прочности кернов, испытанных как во влажном, так и в воздушно-сыхом состоянии, что несколько ниже реальной прочности. Кроме зависимостей  $R = f(\Delta A)$  был вычислен поправочный коэффициент

$K_n^S = \frac{S_R}{S_{\Delta A}}$  в соответствии с обязательным Приложением 2 к ГОСТ

18105-86 «Бетоны. Правила контроля прочности». Здесь  $S_{\Delta A}$  —

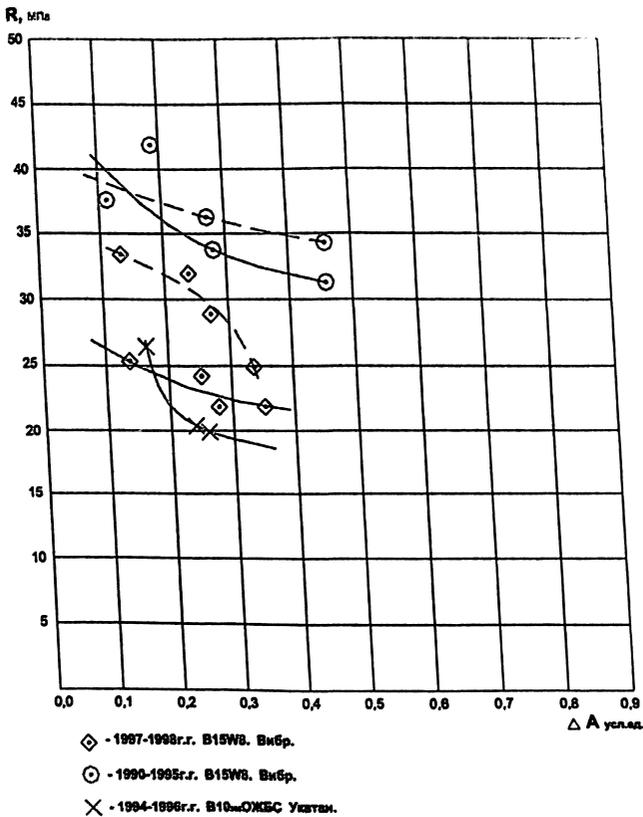


Рис. 3. Зависимость  $R = f(\Delta A)$

среднее квадратическое отклонение прочности бетона, испытанного неразрушающим методом для установления градуировочной зависимости;  $S_R$  — среднее квадратическое отклонение прочности тех же кернов, испытанных нагружением для установления градуировочной зависимости. Для бетона класса В15W8  $K^{SI-III} = 14,89$ .

Для более точного установления градуировочных кривых и поправочных коэффициентов необходимо, чтобы бурению кернов предшествовало СШПЗ в точке, в которой предполагается бурение. Это в значительной мере повысит точность тарировки и, следовательно, точность определения прочности в массивах бетона без бурения с применением метода СШПЗ.

В настоящее время совершенствуются технические возможности генераторов и антенного узла для обследования на глубинах до 300 м.

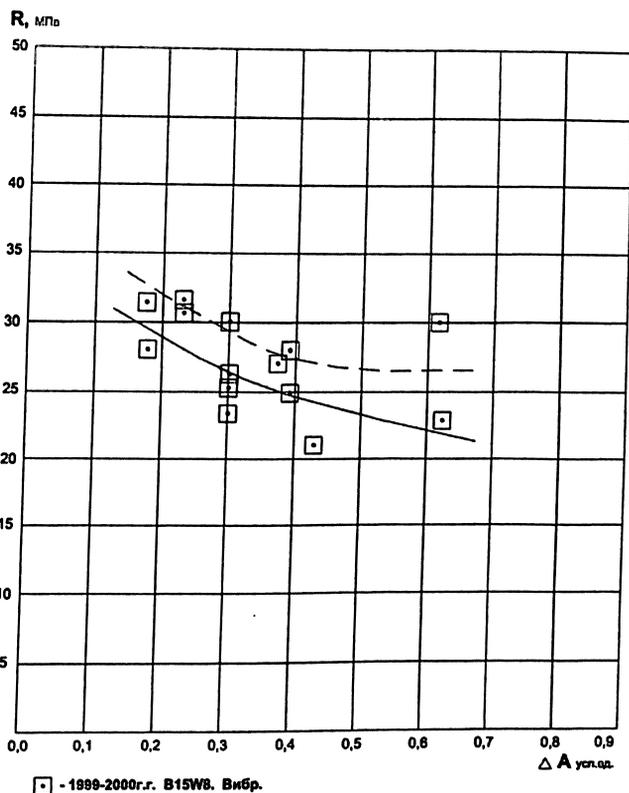


Рис. 4. Зависимость  $R = f(\Delta A)$

Приведем некоторые данные обследования бетона плотины Бурейской ГЭС по прочности с применением метода СШПЗ (таблица).

Среднее значение среднего квадратического отклонения составляет 5,74 МПа как для бетона кернов, так и для бетона, обследованного методом СШПЗ, что говорит о стабильной однородности прочности бетона в массиве.

В таблице приведены данные испытаний кернов на прочность в секциях 15-1 ÷ 22-1 и данные прочности бетона в этих секциях, полученные с помощью метода СШПЗ с использованием тарировочных зависимостей для бетона класса В15 W8 первых столбов плотины. В целом на 206 м зондирования средняя прочность составила 28,75 МПа, тогда как на 72,61 м испытания кернов средняя прочность составила 26,74 МПа. По статистическим данным СШПЗ нет резких изменений параметров сигнала, свидетельствующих об аномальных явлениях в структуре бетонного массива.

Таблица

Прочность бетона по испытанию кернов						Прочность бетона по данным СШПЗ и тарировочным зависимостям «прочность - $\Delta A$ »			
секция столб	№ скважин	число кернов	длина скважины, м	длина кернов, м	R средняя прочность, МПа	№ точки зондирования	число измерений	длина пути зондирования, м	R средняя прочность, МПа
15-1	7-15	10	10,9	7,49	29,57	1	913	50	27,79
17-1	9-17 3-17	34	14,6 15	14,13 14,23	25,55	3	1154	59	29,93
18-1	10-18	22	15,0	12,13	27,93	4	556	45	29,76
22-1	3-22 6-22	31	10,5 15	9,99 14,64	26,3	5	954	52	27,68
Всего		97	79,74	72,61	26,74		3577	206	28,75

По аналогии с ГОСТ на ультразвуковые исследования при испытании методом СШПЗ до выбуривания кернов следует найти области с максимальной, минимальной и средней расчетной прочностью, соответствующей значениям сигналов  $\Delta A$  и  $A_p$ , а затем назначить в этих областях выбуривание кернов, по результатам испытаний которых определить тарировочные зависимости  $R = f(\Delta A_p)$ ,  $\rho = f(\Delta A_p)$ , и затем оценивать прочность во всем исследуемом массиве по данным СШПЗ и тарировочных зависимостей.

В заключение можно сказать, что применение метода СШПЗ может помочь при решении задачи оценки качества бетона по скважинам с неполным выходом керна и неполным процентом испытания кернов скважины на прочность и плотность и в массивах с ограниченным бурением скважин.

Обследование бетона плотины Бурейской ГЭС методом СШПЗ существенно увеличило объем информации, уточнило и дополнило данные по прочности бетона, полученные испытанием кернов, в частности, в зонах неполного выхода керна и зонах, в которых керн не выбуривался.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
ГРУНТОВОГО ЭКРАНА ВЕРХНЕГО ВОДОЁМА  
ДНЕСТРОВСКОЙ ГАЭС НА ОПЫТНОМ ФРАГМЕНТЕ  
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ЕГО ВОЗВЕДЕНИЯ**

*Хомяк Р.В., главный инженер проекта, (ОАО «Укргидропроект»),  
Борткевич С.В., кандидат техн. наук, Воронин С.Г.,  
Иванников В.М., инженеры (ОАО «НИИЭС»)*

Верхний водоём Днестровской ГАЭС располагается на правом берегу р. Днестра на возвышенности, ограниченной с севера и северо-востока р. Днестром, с запада — притоком Днестра р. Сокирянкой, с юго-востока — системой оврагов. Водоём запроектирован в полувыемке-полунасыпи с максимальным использованием грунтов выемки. Верхний водоём имеет площадь более 3 млн. м<sup>2</sup>, полезный объём водохранилища 32,7 млн. м<sup>3</sup>, длина водоёма около 3 км, наибольшая ширина около 1 км [1].

Особенностью района является тектоническая активность разрывных нарушений. Междуречный массив в районе сооружений ГАЭС располагается в пределах одного структурно-тектонического блока (Васильевского). Участок верхнего водоёма ГАЭС пересекает глубинный разлом-сброс со смещением слоя сарматских известняков на 4–5 м. Сейчас разлом стабилен, а его зона представляет собой глубокую древнюю ложбину размыва толщи известняков, заполненную четвертичными отложениями. Васильевский блок расчленён на ряд более мелких блоков трещинами через 100–200 м. В пределах этих блоков породы разбиты густой сетью мелких трещин, наиболее отчётливо выраженных в сарматских известняках и песчаниках верхнекембрийской толщи. Сейсмичность участка ГАЭС достигает 6–8 баллов. Гидрогеологические условия участка расположения сооружений ГАЭС характеризуются наличием двух безнапорных горизонтов, находящихся в зоне влияния верхнего водоёма как потенциального источника повышенной инфильтрации воды. Неогеновый водоносный горизонт, глубиной залегания 15–30 м от поверхности, распространён на водоупорных тортонских глинах, имеющих переменную мощность от 8 до 11 м. Питание этого горизонта происходит за счёт инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка — путём перетекания в меловые породы и выхода на склонах рек и оврагов в виде источников. Меловой водоносный горизонт приурочен к водоупорному слою верхнекембрийских алевролитов и аргиллитов. Питание этого

горизонта происходит вследствие перетекания воды из неогенового горизонта. Разгрузка осуществляется на склонах скрытым образом в четвертичные образования и в виде источников.

Исходя из гидрогеологических расчётов, выполненных Институтом геологических наук Академии наук Украины, инфильтрация в основании не вызовет нарушение водного режима, если фильтрация через экран не превысит среднемноголетнюю норму естественной инфильтрации. При этом максимальное значение коэффициента фильтрации экрана должно быть не больше  $1 \times 10^{-5}$  м/сут [1].

Пестрота литологического состава, разнообразие физико-механических и фильтрационных свойств грунтов, достаточно высокая сейсмическая и тектоническая активность района определяют инженерно-геологические условия строительства верхнего водоёма в целом, как особо сложные. В пределах всей площади водоёма отсутствует водоупор, имеется ряд тектонических зон с высокой водопроницаемостью известняков, проявления выщелачивания пород и суффозионно-карстовых процессов. Значительная часть площади основания верхнего водоема сложена морскими сарматскими и аллювиальными глинами ( $N_1S^2$ ,  $aN_2^3$ ), а также четвертичными отложениями различного генезиса ( $apI$ ,  $\frac{dIII}{vIII}$ ,  $dp$  III-IV).

Морские сарматские глины, залегающие в юго-западной части водоёма на кровле известняков, характеризуются как плотные, тяжёлые, твёрдые, карбонатные с прослоями жирных глин. Дополнительные изыскания, проведённые в 1989 г. в районе распространения сарматских глин, свидетельствуют о том, что эти глины являются макропористыми, трещиноватыми, тонкослоистыми с линзами и прослоями пылеватого песка, часто обводнённого. В ряде скважин в глинах обнаружены зеркала скольжения. В трещинах сарматских глин присутствуют гидроокислы железа и марганца, свидетельствующие о движении по ним воды. Опытными фильтрационными опробованиями скважин установлено, что сарматские глины  $N_1S^2$  вследствие своей трещиноватости, слоистой текстуры и наклонного залегания обладают повышенной водопроницаемостью. По данным опытных наливов коэффициент фильтрации глин местами достигает 0,2 – 0,02 м/сут. При лабораторных определениях фильтрационных характеристик сарматских глин на образцах малого диаметра, не отражающих трещиноватости глин в природном залегании и присутствия в них тонких прослоев песка, а также на образцах нарушенного сложения получены результаты, свидетельствующие о высоких водоупорных свойствах этих

глин. Поэтому сарматские глины при соответствующей технологии укладки могут быть использованы как материал для устройства противофильтрационного экрана верхнего водоёма. Аллювиальные неогеновые глины ( $aN_2^3$ ) залегают на значительной площади водоёма неравномерным по мощности слоем. По условиям залегания — глины пестрые, желтовато-коричневые, от тугопластичной до полутвёрдой консистенции с тонкими (до 5 см) прослоями пылеватых песков. Средний коэффициент фильтрации их в естественном залегании равен  $1 \times 10^{-3}$  м/сут. Четвертичные глинистые разности на отметках дна водоёма имеют ограниченное распространение. Коэффициент фильтрации их достигает 0,3 м/сут. Таким образом, литологически пестрые породы основания верхнего водоёма характеризуются проницаемостью от  $1 \times 10^{-2}$  —  $1 \times 10^{-3}$  м/сут в глинистых грунтах до 10 — 30 м/сут в песках и зонах тектонических нарушений в известняках.

Экспериментальные исследования вещественного состава глинистых грунтов Днестровской ГАЭС выполнялись с помощью рентгеноструктурного дефектометрического анализа [2]. Во всех глинах преобладает монтмориллонит и в качестве примеси присутствует гидрослюда и каолинит. Таким образом, все глинистые и суглинистые разности грунтов из района строительства Днестровской ГАЭС представляют собой преимущественно глинистые монтмориллонитовые системы с небольшой примесью сопутствующих гидрослюда и каолинита. Для всех монтмориллонитовых глин характерна низкая водопроницаемость. Однако она может довольно широко варьировать в зависимости от структуры глинистого грунта, создаваемой той или иной технологией его уплотнения при строительстве.

В связи с этим водопроницаемость неогеновых морских глин и глинистых делювиальных разностей четвертичного возраста, укладываемых в экран, изучалась на фильтрационную прочность на опытном фрагменте, в реальных условиях строительства и работы сооружения. Конструкция опытного фрагмента представлена на рис. 1 [3].

Опытный фрагмент состоял из двух участков, на каждом из которых испытывался один вид глины: на участке 1 — сарматская глина  $N_1 S^2$ , на участке 2 — глина и суглинок делювиального генезиса dIII.

С целью нахождения оптимального режима уплотнения изучаемых глинистых грунтов перед исследованиями на опытном фрагменте были выполнены лабораторные исследования их уплотняе-

мости. Диапазон грунтов был выбран от суглинков и глин четвертичного происхождения до суглинков и глин неогенового возраста.

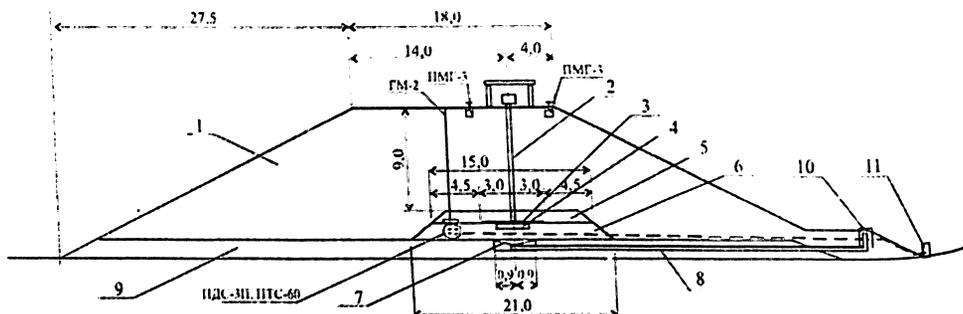


Рис. 1. Конструкция опытного фрагмента: 1 — грунтовая насыпь; 2 — труба для подачи воды; 3 — слой жирной мятой глины; 4 — фильтрующий лоток; 5 — пригрузка из глины слоем 1,0 м; 6 — опытный экран толщиной 1,4 м; 7 — водоприемник; 8 — водоотводная труба; 9 — песчаный дренаж слоем 1,5 м; 10 — пункт замера расходов; 11 — коммутатор; ПМГ-3 — поверхностная марка грунтовая; ГМ-2 — глубинная марка

На рис. 2 представлен график зависимости плотности  $\rho_d$  от влажности  $W$  с нанесёнными кривыми стандартного уплотнения изученных грунтовых разностей и обозначенной областью требуемых параметров укладки, при которых в грунте получается дисперсионная структура сложения, обеспечивающая прлучение минимальной водопроницаемости грунтов. Определение параметров уплотняемости грунтов выполнялось по методу AASHTO T 180-2, адекватным по уплотняющему воздействию тяжёлым грунтоуплотнителям весом более 50 тонн.

В ходе производственного эксперимента на опытном фрагменте исследовались условия фильтрации через глинистый экран дна водоёма с учётом всех сопровождающих этот процесс осложняющих обстоятельств, в том числе при реальной технологии укладки и уплотнения карьерного грунта, с учётом процессов консолидации, деформации и набухания грунта. При проведении опытных работ осуществлялся геотехнический контроль качества и состояния материала как в забоях, так и на отсыпанных слоях. В процессе укладки грунтов слоями 0,25 — 0,30 м во фрагмент производилась закладка контрольно-измерительной аппаратуры. Уплотнение грунта выполнялось по челночной схеме вперёд-назад. Геотехнический контроль состоял из определения плотности уложенного грунта методом режущего кольца, определения влажности и пре-

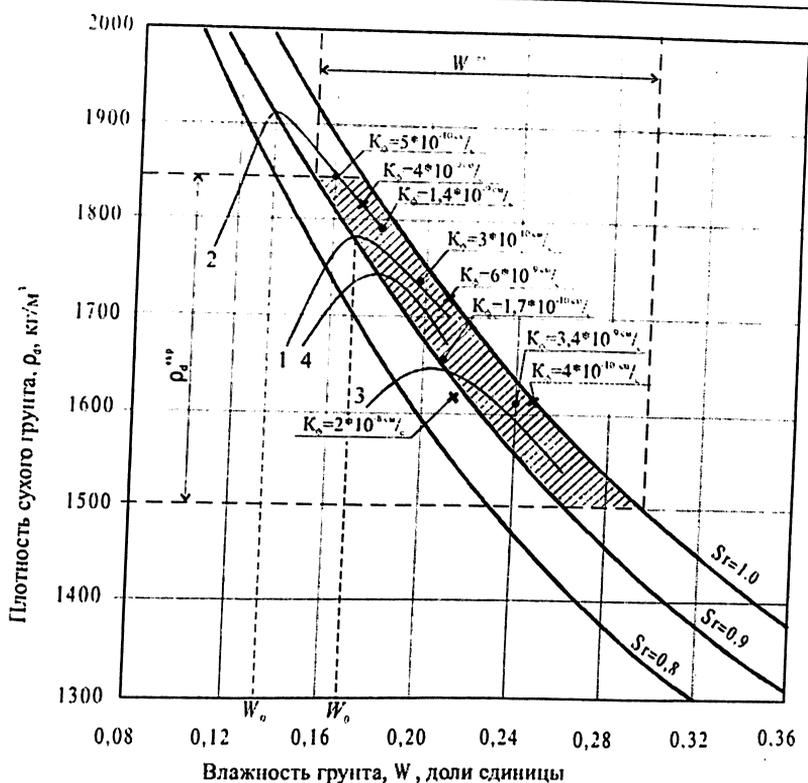


Рис. 2. График зависимости  $\rho_d - f(W)$  для грунтов верхнего водоёма Днестровской ГАЭС: • — коэффициент фильтрации  $K_\phi$  определен для грунта, уплотненного в лаборатории; x — коэффициент фильтрации  $K_\phi$  определен для грунта в производственных условиях на опытном фрагменте; 1, 2, 3, 4 — кривые стандартного уплотнения, соответственно, неогеновых глин, неогеновых суглинков, четвертичных глин, четвертичных суглинков

делов пластичности в соответствии с действующими стандартами. Кроме того, одновременно с определением плотности, из тех же шурфов на месте инфильтрационных водоёмов производился отбор монолитов для лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации. Визуальный контроль включал в себя наблюдения за влажностью, качеством выравнивания и количеством проходов грунтоуплотнителя. В процессе строительных работ отбирались монолиты, производились измерения порового давления, деформаций и температуры в грунте экрана в условиях, характерных для начального периода эксплуатации водоёма ГАЭС при заполнении его на 5–10 м.

Уровень воды в вертикальной трубе измерялся уровнемером. Пьезометрические напоры и поровое давление в грунтах измерялись с помощью дистанционных струнных преобразователей давления ПДС-3П и температуры ПТС-60, заложенных в каждом слое экрана при его возведении непосредственно под фильтрующим лотком и в стороне от него в области установки глубинных марок. Струнные преобразователи работают по принципу изменения частоты колебаний струны от действующих растягивающих или сжимающих сил, возникающих вследствие пьезометрического напора или температурных деформаций. Измерительный элемент — частотомер ПЦП-1. Точность измерений  $\pm 2\%$ . Осадку грунта измеряли путём нивелирования 4-х глубинных марок, каждая из которых представляла собой железобетонную плиту размером 1,2 x 1,2 x 0,5 м с закреплённой на ней вертикальной штангой, находящейся в защитной трубе. Осадка глубинных марок измерялась путём нивелирования по II классу. При этом в каждом цикле измерения производился нивелирный ход от реперов I класса, расположенных в районе водоприёмника. Точность измерения осадки составила  $\pm 5$  мм.

Напоры в фильтрационных установках создавали путём заливки воды в вертикальные трубы. Измерения показали, что в течение года расход фильтрации из отводящих труб отсутствовал. Измерения приборами ПДС-3П показали, что напоров, характерных для процесса фильтрации в грунте экрана, также не возникает. В грунте зафиксировано поровое давление консолидации, имеющее связь с массой грунта выше уложенной насыпи. Причём величины порового давления в сарматской глине и делювиальной глине несколько различались.

В сарматской глине величина порового давления составила 30 — 45% от массы вышеуложенного грунта насыпи и практически не зависела от уровня воды в инфильтрационных водоёмах.

В делювиальных глинах величина порового давления не превышала 20% от массы вышеуложенного грунта.

В связи с отсутствием расходов воды из отводящих труб на опытном фрагменте, значение коэффициента фильтрации глинистых грунтов в экране оценивалось по величине и скорости рассеивания порового давления, которое измерялось приборами ПДС-3П. При расчетах порового давления использовалась методика Л.В. Горелика, рекомендуемая СНиП 2.06.05-84 [4], в модификации И.С. Клейна. При интерпретации материалов натуральных наблюдений расчетными методами получено, что значение коэффи-

циента фильтрации грунтов экрана на опытном фрагменте изменяется в пределах от  $1 \times 10^{-7}$  см/с до  $1 \times 10^{-9}$  см/с ( $1 \times 10^{-4-6}$  м/сут).

Характер изменения температуры во времени по приборам, установленным в зоне инфильтрационных водоёмов, также указывает на то, что фильтрация воды в глинах экрана не происходила, а имеющиеся изменения температуры можно назвать фоновыми по всему массиву дамбы. Величина осадки колебалась от 33 до 110 мм, что составило 2% – 7% от толщины исследуемого слоя грунта экрана, равного 1,5 м. Следует отметить, что такой диапазон осадки обусловлен процессом возведения насыпи.

В ходе исследования уплотняемости полученные результаты свидетельствуют о том, что у глинистых грунтов, уложенных в опытный фрагмент экрана, в силу изменчивости их природного состава, плотность варьирует в довольно широких пределах.

Так, на первом участке фрагмента плотность сухого грунта изменялась от  $1,53$  т/м<sup>3</sup> до  $1,80$  т/м<sup>3</sup>, а влажность от  $0,198$  до  $0,262$ , пределы пластичности:  $W_L = 0,308 - 0,480$ ;  $W_p = 0,19 - 0,218$ . На втором участке плотность сухого грунта изменялась от  $1,50$  т/м<sup>3</sup> до  $1,72$  т/м<sup>3</sup>, а влажность от  $0,172$  до  $0,284$ , пределы пластичности:  $W_L = 0,439 - 0,498$ ;  $W_p = 0,193 - 0,240$ . Все пробы, отобранные на плотность-влажность, попали в область требуемых параметров, что характеризует хорошее качество укладки грунтов в тело экрана опытного фрагмента.

Результаты лабораторного определения коэффициента фильтрации образцов ненарушенной структуры неогеновых и четвертичных глин, отобранных из экрана опытного фрагмента, показали водопроницаемость, характеризуемую величиной коэффициента фильтрации в пределах от  $2 \times 10^{-8}$  см/с до  $4 \times 10^{-10}$  см/с ( $(2 \times 4) \times 10^{-5-7}$  м/сут). Исследованиями на водопроницаемость проб, приготовленных в лабораторных условиях, получены показатели коэффициента фильтрации в пределах  $(0,14 \times 5) \times 10^{-10}$  см/с или  $(0,2 \times 4) \times 10^{-7}$  м/сут (рис. 2). Эти результаты иллюстрируют, что пробы, попадающие в область требуемых параметров укладки, обеспечивают требуемый проектом коэффициент фильтрации, равный  $1 \times 10^{-5}$  м/сут.

### Выводы

1. При исследовании фильтрационных свойств грунтового экрана верхнего водоёма Днестровской ГАЭС на опытном фрагменте установлено, что глинистые грунты различного генезиса, укладываемые в экран, характеризуются различной уплотняемостью. Плотность сухого грунта может изменяться в пределах от  $1,50$  т/м<sup>3</sup> до  $1,80$  т/м<sup>3</sup>.

2. Несмотря на различие глинистых грунтов, уплотнение их в интервале требуемых параметров плотности-влажности до состояния, характеризуемого коэффициентом водонасыщения  $S_r \geq 0,9$ , обеспечивает получение коэффициента фильтрации  $K_{\phi} \leq 1 \times 10^{-5}$  м/сут.

3. Учитывая некоторое различие в водопроницаемости глинистых грунтов, отмеченное наблюдениями на опытном фрагменте, следует считать полезным смешивание грунтов перед укладкой в тело экрана.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Осадчук В.А., Хомяк Р.В. Некоторые аспекты устройства экрана верхнего водоёма Днестровской ГАЭС // Гидротехническое строительство 2004. №6.
2. Кульчицкий Л.И., Габибов Ф.Г., Ткаченко Ю.Г. Определение проницаемости глин. // Разведка и охрана недр. 1986. №10.
3. Канарский В.Ф., Каныгин Л.Е., Гавриш П.Д., Кондратьев В.М., Васильев Ю.Н., Красильников Н.А., Борткевич С.В., Раскин Г.В. Авторское свидетельство SU 1656041 А1. Устройство для определения водопроницаемости и фильтрационной прочности грунта послойно возводимых насыпей.
4. СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов. Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстрой СССР. 1985.

### БЕТОННЫЕ ВОДОСЛИВНЫЕ ПЛОТИНЫ СО СТУПЕНЧАТОЙ НИЗОВОЙ ГРАНЬЮ

*Румянцев И.С., доктор техн. наук,  
Мирзоев М.И., инженер (МГУ Природообустройства)*

В гидротехническом строительстве вопрос гашения избыточной энергии потока, исключения потенциальной эрозии водопроводящих сооружений (рис. 1а) является одним из важных вопросов.

На наш взгляд применение ступенчатой формы сливной грани (рис. 1б) эффективно решает данную проблему.

При этом:

обеспечивается работа водосброса в бескавитационном режиме; происходит значительное насыщение потока воздухом за счет интенсивной самоаэрации, что также позволяет снизить интенсивность гидродинамических нагрузок на все элементы сооружения, включая водобойные устройства;

улучшается качество сбрасываемой воды по экологическим требованиям;

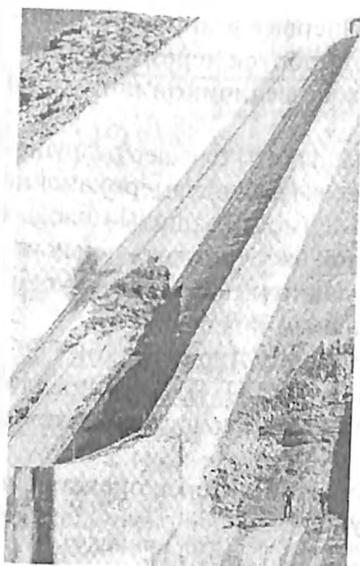


Рис. 1а. Кавитационная эрозия гладкого водослива плотины Карун (Иран)

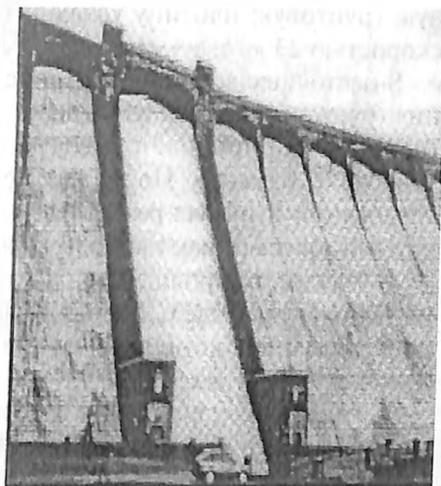


Рис. 1б. Ступенчатый водосброс в работе. Плотина Клаервен (Англия) высотой 67 м; высота ступеней — 1,5 м.

существенно облегчается режим работы концевой участка водосброса, что, в ряде случаев, позволяет упростить успокоительное устройство.

Широкая география и история применения ступеней говорят об эффективности и простоте данного вида гасителей [12]. Существует много примеров использования ступенчатых конструкций для гашения энергии сбрасываемого потока.

Повышенный интерес к ступенчатым водосливным плотинам, возникающий в последнее время, связан с развитием технологии возведения плотин из укатанного бетона. Возведение плотин и ступеней современным способом снижает капитальные затраты на строительство порой до 40% [9], при этом помимо гидравлически выгодных условий работы значительно упрощается возведение водосбросного тракта вследствие отсутствия необходимости выглаживания его поверхности с применением высокомарочных бетонов. За последние 20 лет в мире построено более 200 плотин данным методом.

Ступенчатой может выполняться как водосливная поверхность бетонных плотин, так и водосбросы, устраиваемые на низовом откосе грунтовых переливных плотин [2, 3]. В 80-ые годы в СССР во время натуральных испытаний клиновидных ступенчатых плит

крепления низового грунтового откоса впервые в мировой гидротехнической практике был осуществлен пропуск через водосливную грунтовую плотину удельного расхода величиной  $60 \text{ м}^2/\text{с}$  со скоростью  $23 \text{ м/с}$ .

В настоящее время в США, после анализа 107 случаев разрушения грунтовых плотин из-за перелива через гребень, американские гидротехники пришли к выводу о необходимости защиты низовых откосов от размыва. После четырехлетних экспериментальных исследований ими был разработан метод защиты последних ступенчатыми плитами как наиболее эффективный и дешевый.

В России, в строящейся в настоящее время Аушигерской ГЭС, на основании модельных исследований ОАО «НИИЭС» предложил выполнить концевую часть ее аварийного холостого водовыпуска ступенчатой.

С гидравлической точки зрения, большой интерес представляет изучение гидравлики потока на ступенях. Здесь различают два основных режима течения потока [1, 5, 6, 7, 10, 11]:

первый вид режима называется перепадным (струйным). Водоворотное пространство интенсивно заполняется воздухом, под транзитным потоком образуется воздушная полость;

второй вид режима течения, скользящего по вершинам ступеней — псевдодном, — именуется скользящим (быстротечным). Во время такого режима в нишах между гранями ступеней возникают замкнутые вихревые зоны с горизонтальной осью вращения.

Усиленный обмен количеством движения между потоком и вальцами способствует существенному возрастанию потери энергии потока. Границы смены режимов и характеристики этих течений находятся в прямой зависимости от удельных расходов, размеров ступеней, уклона низовой грани. Установлено [4 – 11], что при относительной глубине потока  $h_{кр}/d > 0,8$  и расположением относительной высоты ступеней в диапазоне  $0,4 < d/l < 1,33$  на ступенях наблюдается скользящий режим течения. Здесь  $d$  и  $l$  — соответственно высота и длина ступеней, а  $h_{кр}$  критическая глубина.

Как отмечено выше, гашение энергии потока на поверхности ступенчатого водосброса отличается высокой эффективностью и позволяет значительно уменьшить ее на носке водослива. Об этом свидетельствует анализ данных модельных исследований, проведенных в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений МГУП, для проведения которых был использован большой гидравлический зеркальный лоток (рис. 2).

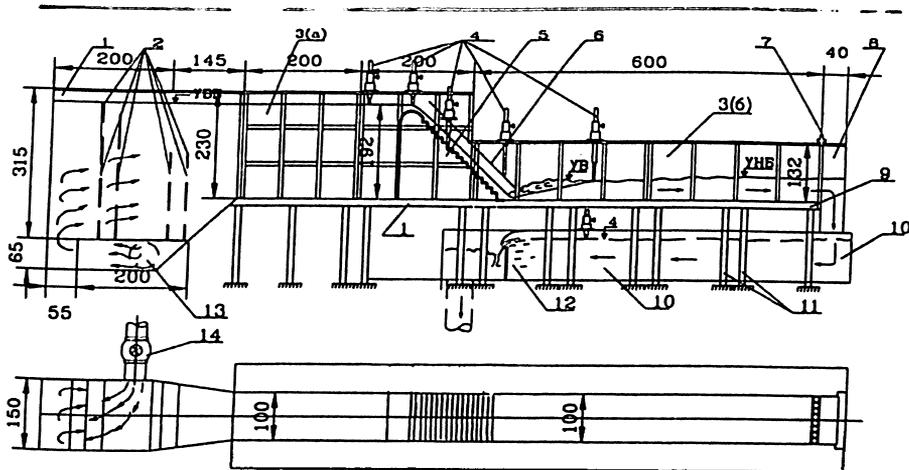


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

1 — головной бак; 2 — успокоительные решетки; 3 — зеркальный лоток (а — повышенная часть; б — участок с пониженными бортами); 4 — шпигельмасштабы; 5 — модель бетонной водосбросной плотины; 6 — полозья для перемещения шпигельмасштаба; 7 — жалюзный затвор в концевой части лотка; 8 — кожух устройства для сброса воды; 9 — металлическая рама в основании лотка; 10 — лоток для измерения расхода воды и сброса воды в подземный резервуар лаборатории; 11 — стойки рамы лотка; 12 — мерный водослив; 13 — подающий трубопровод; 14 — задвижка на подающем трубопроводе

Основные параметры модели были следующими: высота — 192 см, угол наклона низовой (сливной) грани  $\psi = 50^\circ$ . Радиус, по которому был очерчен вакуумный оголовок, для удовлетворения условий работы всего водослива в вакуумном режиме, согласно рекомендациям Н.П. Розонова, имел значение  $r = 33$  см, а при построении оголовка по координатам Кригера-Оффicersова очертания оголовка были приняты при профилирующем напоре 30 см, что в нашем случае при всем диапазоне расходов позволял сохранять безвакуумный режим работы водослива. Расходы составляли от 20 л/с до 120 л/с и измерялись с помощью треугольного водослива. Пропуск расходов и установка уровней проводились с учетом инерционности всей системы. В наших опытах  $d/l = 1,21$ . Смена же скользящего и перепадного режимов наблюдалась при  $h_{\text{ф}}/d = 0,75 - 0,94$ , что практически совпадает с данными других исследователей

Для проведения измерений при помощи жалюзного затвора глубину воды в нижнем бьефе устанавливали таким образом, что-

бы гидравлический прыжок при различных расходах возникал сразу за носком водосброса, каждый раз в одном и том же месте. Эксперименты показали, что при каждом расходе, начиная с известного расстояния от гребня водосброса, возникал постоянный режим глубин, а также имел место значительный захват воздуха. Расстояние от гребня до створа, где располагалось место начала образования постоянной глубины, увеличивается с возрастанием расходов (табл.1).

Таблица 1

Результаты первых экспериментов

Q (л/с)	$h_2/h_1$ (см)	Начало аэрации (№ ступени)	Расстояние от гребня до начала пост. глубин (см), $L/h_{кр}$
20	4,8	3	23,15
40	6,33	5	16,41
60	7,14	6	13,92
80	7,75	8	12,64
100	8	10	11,89
120	8,31	11	11,41

Величины чисел Фруда, относительно прыжка, полученные в ходе опытов при разных расходах примерно постоянны и равны:  $F^2 = q^2/(gh_2^3) = 2,4 \cdot 10^{-2}$ , исходя из чего мы можем получить следующие функциональные зависимости:  $q = 0,024gh_2^3$ ;  $h_2 = 1,62q^{2/3}$ .

Проблемам гидравлических условий работы водосливов со ступенчатой или имеющей ребра усиленной шероховатости сливной гранью посвящено большое число научных публикаций. Авторы этих публикаций отметили, что рассматриваемая ими конструкция имеет древний возраст (около 3000 лет), объясняя это хорошей приспособляемостью не только к пропуску больших паводковых расходов, но и возможностью применения рациональных методик их возведения, существующих на каждом этапе времени[12].

Анализ работ, изученных в рамках этой темы, показывает большое разнообразие поставленных экспериментов, направленных на изучение диссипации потока (табл. 2).

Исследования, касающиеся диссипации, проводились относительно разных значений углов сливной грани, относительных размеров ступеней, высоты плотины и т.д.[1, 5-8, 10-11, 13]

Эксперименты, особенно на установках в маленьком масштабе, слишком оптимистично предсказывают потери энергии, вызванные более низким числом Рейнольдса (эффект вязкости), бо-

Диссипация потока, полученная разными исследователями экспериментальным путем

Исследователи	Процент гашения энергии
Diez-Cascon 1991	88-91
Svanshtein 2000	75
Chanson 1993	95
Stephenson 1990	87
Sorensen 1985	84
Al-Ali 2000	75

лее высоким числом Вебера (эффект поверхностного натяжения) и различным соотношением захвата воздуха. В связи с последним, при очень низких числах Рейнольдца обтекающий поток не дробится, и потери энергии вызывают другие факторы [4].

Все исследователи отметили, что потеря энергии происходит в результате взаимодействия горизонтальных вихрей и потока. Однако в направлении изменения шероховатости самих ступеней работы не проводились. В настоящее время планируется провести ряд испытаний с изменением шероховатости полок ступеней. При помощи лабораторных исследований необходимо установить влияние последней на диссипацию энергии потока и подобрать такую форму шероховатостей, которую легко осуществить, не изменяя технологии строительства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аль-Али АбдельРаззак. Научное обоснование методов расчета и проектирования высокопороговых плотин со ступенчатой нижней сливной гранью. Автореф. дисс. Москва, МГУП, 2000 г.
2. Гордиенко П.И. Железобетонно-земляные водосливные плотины «Плотины и водосбросы». Сборник трудов МИСИ. Вып.2.-М. №61.1970.
3. Правдивец Ю.П. Индустриальная конструкция грунтовой водосливной плотины «Гидротехническое строительство». №12.1987.
4. Шарп Дж. Гидравлическое моделирование М.: «Мир».1984.
5. Шванштейн А.М. Ступенчатые водосливные плотины и гашение энергии. Известия ВНИИГ им. Б.Е. ВЕДЕНЕЕВА. Том 236. Санкт-Петербург. 2000.
6. Christodoulou С. Energy Dissipation on Stepped Spillway. J. of Hydraulic Engineering, ASCE, 119, No.5. 1993.
7. Chanson, H. & Toombes L. Flow aeration at stepped cascades. Research Report No. CE155, Department of Civil Engineering, University of Queensland, ISBN 0 86776 730 8. 1997.
8. Ohtsu, I., Yasuda, Y. Characteristics of flow conditions on stepped spillways. Proc. 27<sup>th</sup> IAHR Congress, San Francisco. Theme D. 1997.

9. Shimizu S., Yanagida T., Jojima S. The development of the RCC method in Japan. Water Power & Dam Construction 1986.
10. Stephenson, Energy dissipation down stepped spillways. // Water Power & Dam Construction, September. 1991.
11. Sorensen R.M. Stepped spillway hydraulic model investigation. // Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 111 (12): Discussion: 113 (8). 1985.
12. The oldest dam in the world. // La Houille Blanche. Mai-Juin. 1952.

## **СПЕЦИАЛЬНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СООРУЖЕНИЙ**

*Поспелов В.П., кандидат техн. наук (НПП «Проект-Д»),  
Миренков А.Ф., кандидат техн. наук (ОАО «НИИЭС»)*

В практике строительства реакторных установок атомных электростанций (АЭС) широкое применение нашли особо тяжелые бетоны с плотностью от 3400 до 4200 кг/м<sup>3</sup>, которые содержат в качестве заполнителя металлические дробь, скрап и песок [1]. Однако для реакторов АЭС нового поколения в связи с повышенными требованиями по безопасности возникла необходимость в предъявлении к бетонам более высоких требований по температурной нагрузке и срокам службы. Традиционные составы особо тяжелых бетонов имеют невысокие технологические качества: трудно укладываются в конструкции, практически не перекачиваются бетононасосами и трудно транспортируются [2]. Особо тяжелые бетоны на АЭС с реакторами ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и РБМК-1000 были жесткими (0 — 6 см ОНК) из-за опасения расслаиваемости бетонной смеси, так как содержали металлические заполнители. Технология производства бетонных работ включала в себя приготовление жестких смесей на отдельных заводах и технологических линиях, транспортировку в автосамосвалах, подачу к месту укладки в бадьях, укладку с применением виброуплотнения. Технология отличалась трудоемкостью и сложностью.

Бетоны для реакторов АЭС нового поколения разрабатывались из условия получения связанных литых особо тяжелых бетонных смесей, которые не имеют вышеперечисленных технологических недостатков.

Технология производства бетонных работ аналогична технологии обычного бетона и включает в себя транспортировку особо тяжелой смеси в автобетоносмесителях, подачу к месту укладки бетононасосами, укладку гравитационным способом. Как прави-

ло, конструкции из особо тяжелого бетона облицовывались металлом, который служил несъемной опалубкой. По-видимому, такую технологию целесообразно применить при возведении конструкций из особо тяжелого бетона для АЭС нового поколения. При этом к бетонной смеси предъявляются следующие требования: смесь должна быть литая (16 – 20 см ОНК), смесь не должна расслаиваться при ее транспортировке и укладке, смесь должна укладываться гравитационным способом.

Требования к бетону и бетонной смеси формулируются исходя из получения особо тяжелого бетона с прочностью 40 – 60 МПа, средней плотностью 3400, 4000 и 4200 кг/м<sup>3</sup>, стойкостью к температурным воздействиям не ниже 200°С и радиационным воздействиям, характеризующимся флюенсом нейтронов не ниже 10<sup>24</sup> нейтрон/м<sup>2</sup>, соответствующего технологическим требованиям удобоукладываемости.

В составе особо тяжелых бетонов практически использованы следующие материалы:

крупный заполнитель — железорудные нефлюсованные окатыши Лебединского ГОКа;

мелкий заполнитель — окалина машинной огневой зачистки Череповецкого завода;

вяжущее на основе портландцемента и суперпластификаторов С-3 (Россия) и Reobild-716 (Италия).

На этих материалах без применения дополнительных металлических заполнителей можно получить бетон со средней плотностью 3400–3500 кг/м<sup>3</sup>. Для получения бетонов с большей плотностью в их составы вводятся металлические заполнители, при этом средняя плотность бетона может быть увеличена до 4200 кг/м<sup>3</sup>. Дальнейшее увеличение плотности нецелесообразно из-за ограничений предлагаемой технологии производства работ (использование литых бетонов и гравитационного способа укладки).

Ниже приводятся примеры получения двух основных марок бетона со средней плотностью D3400 и D4000 и одной дополнительной марки плотностью D4200.

Особо тяжелые бетоны могут быть получены в зависимости от вида исходных материалов, технологического состава, технических и экономических факторов.

В работе [3] показано, что возможно приготовление жаростойких бетонов на основе окислов железа, в частности гематита. Это послужило предпосылкой для использования окислов железа в новых составах особо тяжелых бетонов.

В качестве крупного заполнителя для новых высокотехнологичных особо тяжелых бетонов были выбраны железорудные неофлюсованные окатыши Лебединского ГОКа, которые поставляются по действующим ТУ предприятия. В качестве мелкого заполнителя — окалина машинной огневой зачистки Череповецкого металлургического комбината, которая является отходом.

Окалина должна соответствовать следующим требованиям:

содержание железа в окалине должно быть не менее 70%;

средняя плотность должна быть не менее 5,0 г/см<sup>3</sup>;

окалина должна иметь форму округлых или дробленых зерен фракции 0 — 10 мм;

окалина не должна содержать посторонних примесей, а также спекшихся частиц крупнее 20 мм;

содержание масла в окалине не должно быть выше 3% .

В литых особо тяжелых бетонах для придания бетонной смеси связности, а также повышения жаростойкости применен микронаполнитель [4], который должен: не снижать и возможно превышать среднюю плотность особо тяжелого бетона, т.е. быть тяжелым; придавать связность вяжущему и бетонной смеси при ее литой консистенции; связывать выделяющуюся в процессе нагревания в затвердевшем вяжущем на основе портландцемента свободную окись кальция в устойчивые соединения; компенсировать усадочные явления в портландцементном камне при его нагревании; не влиять отрицательно на прочностные, деформативные и другие характеристики бетона; быть доступным материалом.

Микронаполнитель может быть получен из окалины машинной огневой зачистки или окалины прокатной, используемых в качестве мелкого заполнителя путем дробления до заданной крупности.

В качестве микронаполнителя может быть использован готовый продукт — железорудный концентрат Лебединского ГОКа, из которого изготавливают железорудные окатыши. По своим характеристикам он удовлетворяет требованиям к микронаполнителю разрабатываемых бетонов.

В бетонах со средней плотностью 4000 и 4200 кг/м<sup>3</sup> в комбинации с окатышами и окалиной используется чугунная или стальная дробь (песок), поскольку на окатышах и окалине можно получить бетон высокой подвижности не выше 3500 кг/м<sup>3</sup>.

Дробь чугунная или стальная (литая или колотая), используемая в качестве мелкого заполнителя, должна соответствовать требованиям ГОСТ 11964-81.

В качестве заполнителя может быть использована дробь чугуная литая (ДЧЛ) или колотая (ДЧК), дробь стальная литая (ДСЛ) или колотая (ДСК), дробь стальная рубленая (ДСР), дробь стальная литая буровая (ДСЛБ).

Крупность дробы должна находиться в пределах от 1 до 8 мм, предпочтительнее использовать дробь №3; 3,5; 5; 6. Рекомендуется применять смесь дробы двух-трех номеров в зависимости от объема гранулометрического состава смеси заполнителей.

При наличии на поверхности дробы масла ее следует обязательно обезжирить.

Хранение и транспортировка дробы должны производиться во влагонепроницаемой таре, исключающей попадание в дробь пыли, влаги, солянодержавших аэрозолей.

Ржавую окомкованную дробь применять не допустимо.

При разработке составов бетона была использована дробь чугуная литая Запорожского завода.

В качестве вяжущего в бетонах используется портландцемент. Для разрабатываемых бетонов в соответствии с ранее изложенными требованиями может быть применен портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, сульфатостойкий портландцемент марки не ниже 40 МПа.

Опыт работы с высокоподвижными и жаростойкими бетонами показывает, что желательнее использовать портландцемент нормальной густоты, не выше 28, и содержанием С3А не более 8% [5].

При разработке технологических составов бетона были использованы портландцементы Воскресенского завода марки М40 и Белгородского завода марки М50.

Для придания бетонной смеси необходимой подвижности, а также для повышения физико-технических характеристик бетона в его состав вводится суперпластификатор.

Из многих имеющихся суперпластификаторов предлагаются два: С-3 (Россия) и Reobild 716 (Италия).

Суперпластификатор С-3 представляет собой продукт поликонденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида, выпускается Новомосковским ПО «Оргсинтез» (Россия) по ТУ 6-14-625-80. Оптимальный диапазон дозирования составляет 0,4 – 1,2 от массы цемента из расчета на сухое вещество.

Суперпластификатор «Reobild 716» представляет собой синтетический бесхлористый полимер производства фирмы МАК (Италия). Оптимальный диапазон дозирования 0,8 – 1,0 литр на 100 кг цемента.

Технологические составы особо тяжелых бетонов для АЭС нового поколения разрабатывались расчетно-экспериментальным методом с использованием данных банка о высокотехнологичных особо тяжелых бетонах, исходя из выше изложенных требований к бетону и бетонной смеси.

В целях сокращения объемов экспериментальных работ при разработке бетонов для АЭС нового поколения определялись основные характеристики бетона:

- прочностные (предел прочности при сжатии, призмная прочность, прочность на растяжение при скалывании);
- деформативные (модуль упругости);
- средняя плотность бетона.

Испытания проводились на образцах-кубиках размером 100x100x100 мм и призмах 100x100x300 мм после твердения в течение 28 суток в камере нормального хранения по стандартным методикам.

Для определения стойкости бетона к температурным воздействиям проводились испытания образцов на термическую стойкость при воздействии температур 200 и 600°C с воздушным охлаждением до 50 циклов.

Полученные результаты испытаний сравнивались с имеющимися данными банка по высокотехнологичным особо тяжелым бетонам на аналогичных составляющих, накопленными ранее в результате испытаний бетонов по полной программе.

Результаты испытаний основных характеристик разработанных особо тяжелых бетонов приведены в табл. 1, из которой следует, что:

с использованием выбранных материалов получены литые особо тяжелые бетоны с прочностью 400, 500 и 600 кг/см<sup>2</sup>;

при испытании бетонов на термическую стойкость (после воздействия нагревания — охлаждения в воздушных условиях до 50 циклов) все составы бетонов эти испытания выдержали (табл. 2).

Потери прочности после нагревания при 200°C практически не наблюдалось. Потеря прочности после воздействия 600°C составила около 30 — 35%, что близко к жаростойким бетонам (составы 4—11, табл. 16, Приложение к СНиП 2.03.04-84).

Эти испытания показали, что бетоны на выбранных составляющих и принятых составах могут быть использованы при повышенных температурах. Аналогичные результаты были получены ранее для высокотехнологичных особо тяжелых бетонов на таких же составляющих.

**Безопасность энергетических сооружений**

*Таблица 1*  
**Результаты испытаний основных характеристик особо тяжелых бетонов**

Номер состава	Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup>	Призменная прочность, кгс/см <sup>2</sup>	Предел прочности при осевом растяжении, кгс/см <sup>2</sup>	Модуль упругости, кгс/см <sup>2</sup>	Средняя плотность бетона, кг/см <sup>3</sup>
1	405	230	20	325000	3480
2	510	280	21	362000	3460
3	612	345	22	378000	3480
4	420	235	23	330000	4090
5	508	279	24	358000	4070
6	615	340	26	385000	4050
7	402	228	22	331000	4280
8	505	280	25	356000	4290
9	602	320	27	370000	4280

**Примечание.** Все характеристики определены на стандартных образцах по стандартным методикам после 28-суточного твердения в нормальных воздушно-влажностных условиях

*Таблица 2*  
**Результаты испытаний особо тяжелых бетонов на термическую стойкость**

№ состава	Предел прочности после 28-дневного твердения, кгс/см <sup>2</sup> /%	Изменение характеристик бетона после 50 теплосмен при температуре, °С					
		Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup> /%		Средняя плотность, кг/м		Наличие дефектов (трещины, отколы)	
		200	600	200	600	200	600
1	405/100	410/101	284/70	3330	3300	нет	нет
2	510/100	506/99	383/75	3320	3300	нет	нет
4	420/100	441/105	286/68	3950	3900	нет	нет
5	508/100	509/100	350/69	3970	3890	нет	нет
7	402/100	390/97	261/65	4150	4100	нет	нет
8	405/100	410/101	284/70	3330	3300	нет	нет

Результаты испытаний показали, что бетоны без металлических заполнителей могут быть использованы при температурах до 600°С. Применение бетонов с металлическими заполнителями ограничено 200°С.

Разработанные бетоны соответствуют марке (классу) по прочности на сжатие (М400, В30), (М500, В35), (М600, В45), средней плотности D3400, D4000, D4200 в соответствии с классификацией СНиП 2.03.01-84, СНиП 2.03.04-84 и относятся к жаростойким бетонам (табл. 9, поз. 7, СНиП 2.03.04-84).

Нормативные и расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой и второй групп в зависимости от его класса принимаются по СНиП 2.03.01-84 как для тяжелого бетона (табл. 12, 13).

Начальный модуль упругости принимается в зависимости от класса по табл. 18 СНиП 2.03.01-84 как для тяжелого бетона естественного твердения.

Коэффициенты условий работы в зависимости от воздействия температур принимаются по данным табл. 10 (СНиП 2.03.04-84), состав 7.

Коэффициенты упругости принимаются по данным табл. 12 и 13 в зависимости от температуры и длительности ее воздействия (для состава 7).

Коэффициенты линейной температурной деформации усадки и коэффициент температурной усадки принимаются по табл. 14 и 15 (СНиП 2.03.04-84), состав 7.

#### **Выводы**

Получены особо тяжелые бетоны со следующими параметрами:

1. Литые связные особо тяжелые бетонные смеси с подвижностью 16 – 20 см ОНК можно рекомендовать под высокомеханизированную технологию с использованием автобетоносмесителей, бетононасосов, гравитационного способа укладки, обеспечивающую при этом высокую производительность при производстве бетонных работ.

2. Высокие защитные характеристики предлагаемых составов бетона в 1,5–1,8 раза выше, чем у обычного бетона, характеризующемуся высокой средней плотностью 3400–4200 кг/м<sup>3</sup> и оптимальным химическим составом.

3. Прочность бетонов на сжатие составляет до 60,0 МПа.

4. Бетоны могут быть использованы при температурных нагрузках до 600°С. Радиационная стойкость бетонов не ниже 1024 нейтр/м<sup>2</sup>.

5. Бетон по своим защитным и физико-техническим характеристикам удовлетворяет требованиям, предъявленным условиями эксплуатации в конструкциях радиационной защиты АЭС нового поколения.

6. Выполненные работы в области технологии особо тяжелых бетонов и полученные результаты позволяют пересмотреть кон-

цепцию применения особо тяжелых бетонов и расширить их использование в радиационной защите АЭС нового поколения вместо обычного тяжелого бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Комаровский А.Н. Строительство ядерных установок. М.: Атомиздат. 1968.
2. Дубровский В.Б. Строительные материалы и конструкции защиты от ионизирующих излучений. Стройиздат. 1983.
3. Поспелов В.П., Миренков А.Ф. Бетонная масса. Авт.свид.№ 199740 кл.806. 1/Г2-МПКС.046.4.
4. Некрасов К.Д. Жаростойкий бетон на портландцементе. Изд-во литературы по строительству. 1969.
5. Поспелов В.П. и др. Бетонные смеси для радиационной защиты. Авт. свид. №786255. М.КЛ. Z С04 15/00.

### **ОБОСНОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПЛОТИНЫ КАПАНДА (АНГОЛА) НА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ**

*Бронштейн В.И., доктор техн. наук, Грошев М.Е., кандидат техн. наук, Султанбеков Р.Р., инженер, (ЦСГНЭО — филиал ОАО «Инженерный Центр ЕЭС»)*

Гравитационная плотина гидроузла Капанда максимальной строительной высотой 110 м, длиной по гребню 1200 м строится из укатанного бетона [1]. Технология строительства в значительной степени предопределила последовательность возведения и конфигурацию тела плотины на различных этапах строительства, а также слоистую структуру бетона со швами-ослаблениями через каждые 40 см по высоте плотины. Существенное влияние на ход строительства оказали осложнения политической обстановки в стране, которые неоднократно приводили к внезапному прекращению строительных работ и оставлению возведенной части сооружения без консервации и надзора на длительный (до 7 — 8 лет) срок.

Возобновление в 1999 г. строительных работ на площадке поставило на повестку дня задачу уточнения напряженно-деформированного состояния (НДС) и отдельных проектных решений плотины, определявшихся в составе основного проекта (DPR) примерно полтора десятилетия назад, с учетом фактической истории возведения сооружения, изменения свойств конструкци-

онных материалов и грунтов основания относительно принимавшихся при разработке DPR, а также с использованием современных нормативных требований и вычислительных моделей.

В соответствии с изложенной основной задачей расчетных исследований, поставленной Генпроектировщиком гидроузла - институтом «Гидропроект» перед ЦСГНЭО, явилось обоснование общей прочности плотины Капанда при основном и особом (включающем сейсмическое воздействие) сочетаниях нагрузок на трехмерной математической модели с учетом уточненных параметров физико-механических свойств бетона плотины и скальных пород основания, а также реальной последовательности возведения и нагружения сооружения.

Значения показателей свойств бетона принимались по результатам полевых и лабораторных испытаний, выполненных ОАО «НИИЭС» и строительным подрядчиком (ОЗЕЛ-Бразилия), в обработке доктора техн. наук Е.А. Когана.

Расчетная модель основания, включающая значения показателей свойств скальных пород, построена на основе уточненной инженерно-геологической модели, разработанной специалистами Гидропроекта и ЦСГНЭО с использованием всей совокупности материалов изысканий и натуральных исследований, в том числе выполненных после возобновления строительства.

Ввиду ограниченных по времени и затратам возможностей уточнения показателей свойств бетона и пород основания, которые могли претерпеть неблагоприятные изменения за период бесконтрольного существования сооружения после прекращения строительных работ, одно из важнейших направлений расчетного обоснования надежности плотины составили численные исследования влияния на НДС сооружения вариаций значений физико-механических характеристик бетона и горных пород основания.

Также направлением численных исследований явились поверочные расчеты отдельных конструктивных элементов плотины. Наибольший интерес из этой группы расчетов представляют исследования надежности крепления защитных железобетонных плит пленочного экрана на верховой грани плотины при сейсмическом воздействии и оценка влияния устройства штрабы в бычке на НДС сооружения.

Еще одной задачей расчетных исследований явилось определение — в целях осуществления оперативного контроля безопасности эксплуатации сооружения — критериальных значений показателей НДС системы плотина — основание.

### **Обоснование общей прочности и устойчивости плотины**

Задача решалась, как уже указывалось, на трехмерной математической модели с воспроизведением руслового блока и береговых секций плотины, отделенных от русловой плотины вертикальными деформационными швами 28 и 37.

В расчетах учитывался блок основания протяженностью более 1,5 км вдоль потока и заглублением его нижней плоскости на 400 с лишним метров от наинизшей точки плотины. Массив основания, сложенный прочными ожелезненными песчаниками с прослоями аргиллитов и алевролитов, разделен на зону сохранных пород А и зону выветривания и разуплотнения В. Последняя мощностью 10 – 15 м в русле и до 30 м в бортах включает три подзоны: интенсивного В<sub>3</sub>, умеренного В<sub>2</sub> и слабого В<sub>1</sub> выветривания и разуплотнения. Помимо зонирования пород основания по физико-механическим свойствам на модели воспроизведены трещины бортового отпора.

Расчеты выполнены методом конечных элементов с использованием универсального программного комплекса MARC [2] и построением конечно-элементной модели системы «плотина — основание» с помощью препроцессора MENTAT.

В составе нагрузок основного сочетания учитывались собственный вес плотины, гидростатическое давление на верховую грань и противодействие на подошву плотины при НПУ 950 м и уровне нижнего бьефа 861,92 м, давление наносов на верховую грань плотины при отметке заиления 870 м.

Расчет начинался с определения НДС основания, обусловленного действием сил гравитации. Затем в пять этапов, иллюстрируемых рис. 1, воспроизводилось возведение плотины. Напряженное состояние полностью возведенной плотины перед наполнением водохранилища характеризуется достаточно равномерным распределением напряжений в теле плотины при относительно невысоком их уровне (рис. 2), слабым проявлением пространственного эффекта (напряжения в нормальном потоку направлении не превышают -0,4 МПа) и практическим отсутствием «зависания» руслового блока плотины на берегах, которое иногда прогнозируется расчетом в случае пренебрежения этапностью возведения плотины и некорректного воспроизведения взаимодействия русловых и береговых секций плотины по деформационным швам. Горизонтальные смещения плотины направлены в сторону верхнего бьефа (2 мм на гребне плотины).

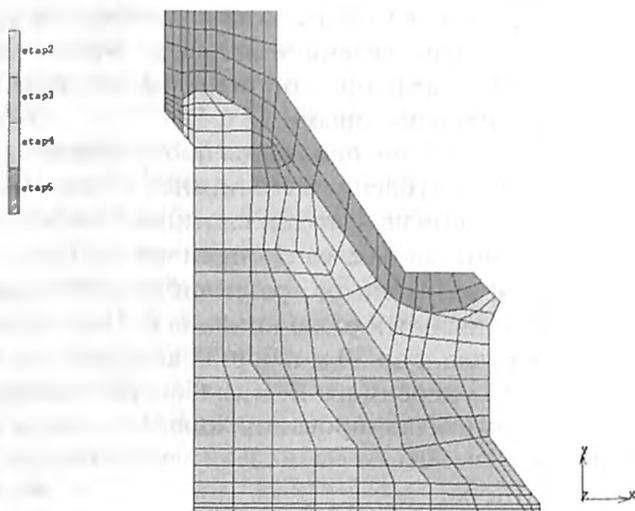


Рис. 1. Принятая в расчетах последовательность возведения руслового блока

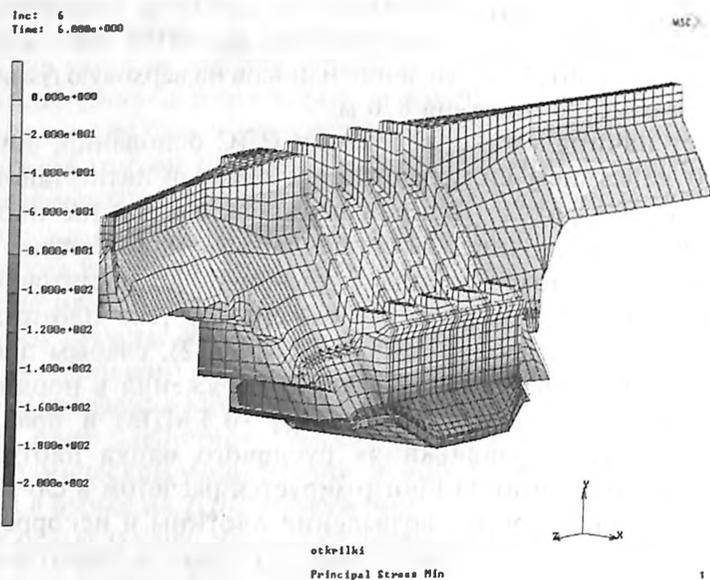


Рис. 2. Изохроны минимальных напряжений (0.01 МПа) в теле плотины при опорожненном водохранилище (вид с нижнего бьефа)

Расчетное моделирование заполнения водохранилища сопровождается снижением (рис. 3) сжимающих вертикальных напряжений на верховой грани (до  $-0,6$  МПа в нижней части руслового блока) и возрастанием их (до  $-2,5$  МПа) на низовой грани. Распорные напряжения (поперек потока) не превышают  $-0,85$  МПа на верховой и  $-0,1$  МПа на низовой грани. Максимальные главные напряжения при заполненном до НПУ водохранилище реализуются в основном в примыканиях верховой грани русловой плотины к бортам, не превышая  $1,2$  МПа. Минимальные главные напряжения имеют место на низовой грани сооружения ниже водосливного носка, где они достигают  $-5,9$  МПа. Горизонтальные смещения плотины в сторону нижнего бьефа достигают на гребне  $17,7$  мм. Коэффициент запаса на сдвиг по контакту плотины с основанием составляет  $1,83$ , что существенно выше нормативного значения  $1,32$  для гравитационных плотин I класса на скальных основаниях.

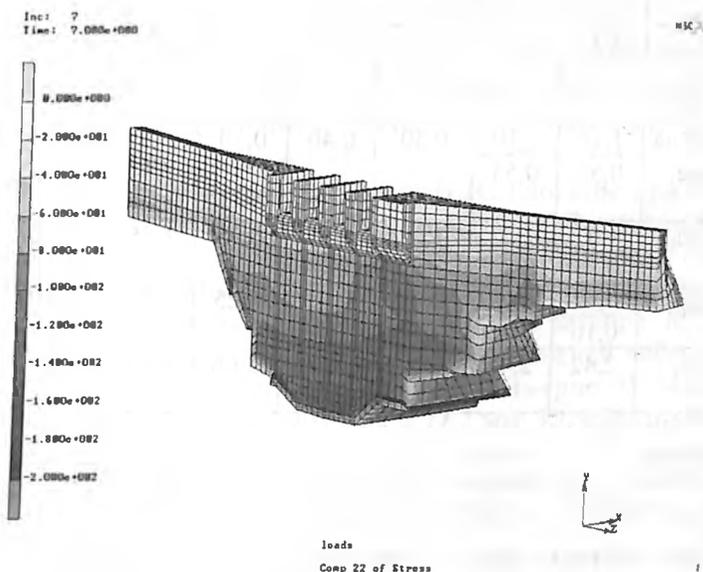


Рис. 3. Изохромы вертикальных напряжений ( $0,01$  МПа) в теле плотины при заполненном водохранилище

### Оценка влияния вариаций свойств бетона и скального основания на НДС плотины

Исследования проведены путем решения нелинейной упруго-пластической задачи методом конечных элементов в двумерной постановке [3]. Аппроксимация тела плотины и расчетного блока

основания размерами 300 x 100 м, выполненная с помощью треугольных элементов второго порядка точности, и разбивка расчетной области на зоны с различными характеристиками материалов показаны на рис. 4. Численные значения показателей свойств материалов, принятые для проектирования, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика	Бетон		Скальный массив					
	Зона 1 mat1-1	Зона 2 mat1-2	Зона 3 mat1-3 (A)	Зона 4 mat1-4 (B <sub>1</sub> )	Зона 5 mat1-5 (B <sub>2</sub> )	Зона 6 mat1-6 (AT)	Зона 7 mat1-7 (B <sub>1</sub> T)	Зона 8 mat1-8 (B <sub>2</sub> T)
Статический модуль упругости, ГПа	25	25	50	40	22	35	22	7
Коэффициент Пуассона	0,18	0,18	0,18	0,20	0,24	0,21	0,24	0,28
Прочность на одноосное сжатие, МПа	9,0	9,0	30,0	25,0	15,0	22,0	15,0	6,0
Прочность на растяжение, МПа	$\frac{1,10}{0,55}$	$\frac{1,10}{0,55}$	0,50	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10
Тангенс угла трения	$\frac{1,07}{0,85}$	$\frac{1,07}{0,85}$	1,05	1,05	0,95	1,05	1,00	0,90
Сцепление, МПа	$\frac{0,92}{0,16}$	$\frac{0,92}{0,16}$	0,40	0,35	0,25	0,35	0,30	0,25
Плотность, т/м <sup>3</sup>	2,42	2,42	2,67	2,67	2,66	2,67	2,67	2,66

Примечания:

1. Числитель — характеристики бетона, уложенного с прослойкой цементного раствора (beddingmix) в горизонтальных швах; знаменатель — то же, без прослойки.
2. Толщина зон 1 (плотина) и 3 — 8 (основание) из плоскости рисунка принята равной ширине секции плотины 19 м, зоны 2 — толщине бычков водослива 4 м.
3. Зоны 6,7,8 — зоны сгущения трещин, соответственно в сохранных (AT), слабо выветрелых (B<sub>1</sub>T) и умеренно выветрелых породах (B<sub>2</sub>T).

Состав нагрузок основного сочетания был таким же, что и в расчетах по пространственной схеме. Расчеты на сейсмическое воздействие выполнялись по волновой теории сейсмостойкости с представлением сейсмической нагрузки в виде двухкомпонентной акселерограммы.

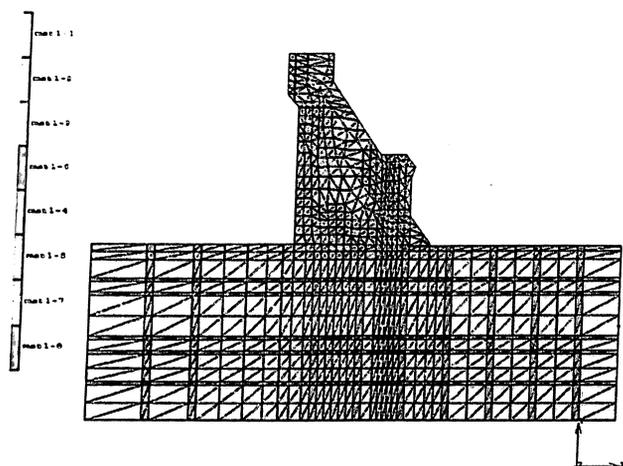


Рис. 4. Конечноэлементная аппроксимация системы плотина-основание с разбивкой на зоны с различными свойствами материала

Возведение плотины в расчете воспроизводилось в семь этапов, после чего на восьмом этапе моделировалось заполнение водохранилища. Давление наносов прикладывалось после наполнения водохранилища до НПУ.

Согласно результатам расчетов, НДС плотины при основном сочетании нагрузок является благоприятным. Растягивающие напряжения вертикального направления в теле плотины отсутствуют, а горизонтальные растягивающие напряжения имеют место лишь в зоне передачи на бычки нагрузки от затвора. Минимальные главные напряжения наблюдаются в нижней части низовой грани плотины, где они достигают  $-4,2$  МПа (рис. 5). Максимальный прогиб гребня плотины равен  $22,7$  мм. Коэффициент запаса на сдвиг по контакту с основанием составляет  $1,72$ .

Для оценки влияния вариаций свойств бетона и скальных пород основания на НДС плотины выполнены расчеты при четырех альтернативных вариантах исходных данных, каждый из которых отличался от основного варианта 1 значениями лишь одного параметра. Во втором варианте приняты минимальные из доверительного интервала значения модулей деформации основания, в третьем — максимальные, в четвертом — средневзвешенные в пределах каждой выделенной в основании зоны (подзоны) выветривания и разгрузки. В пятом варианте принята пониженная плотность бетона в плотине ( $2360$  кг/м<sup>3</sup> вместо  $2420$  кг/м<sup>3</sup> в остальных вариантах).

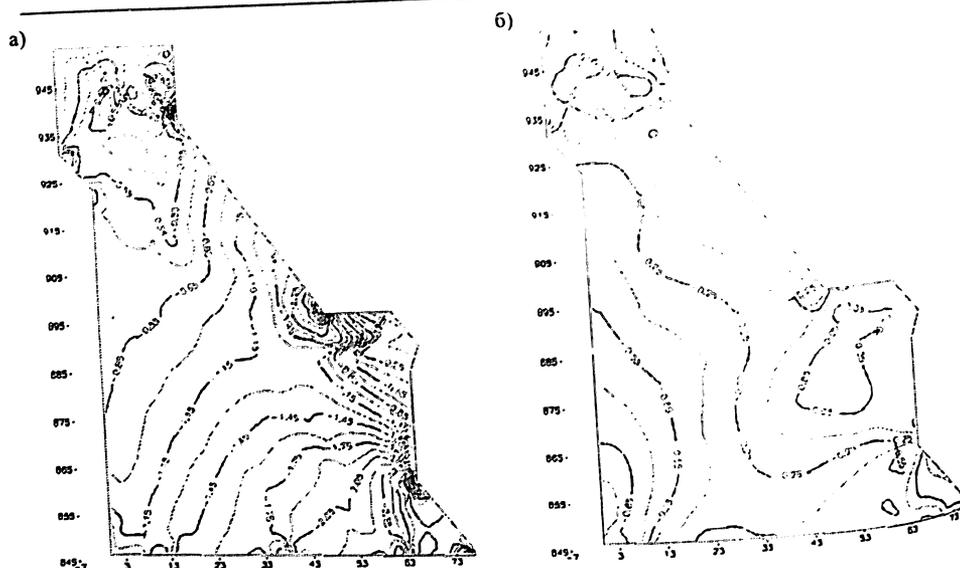


Рис. 5. Изолинии минимальных (а) и максимальных (б) напряжений (МПа) после заполнения водохранилища

Численные значения статических модулей деформации (ГПа), принятые во втором, третьем, четвертом вариантах расчета, приведены ниже:

	Зона 3	Зона 4	Зона 5	Зона 6	Зона 7	Зона 8
Вариант 2	45	35	10	30	17	4
Вариант 3	55	45	35	40	30	10
Вариант 4	46,8	35,4	16,4	46,8	35,4	16,4

Результаты расчета альтернативных вариантов свидетельствуют о незначительном влиянии изменений (производимых в доверительном интервале) значений рассматриваемых параметров на НДС сооружения. Напряжения при всех рассмотренных вариантах исходных данных практически одинаковы, за исключением варианта 4, для которого позонное осреднение модулей деформации основания привело к некоторому сглаживанию эпюр контактных напряжений. Однако и в этом случае разница в напряжениях, связанная с наличием вертикальных зон сгущения трещин в исходной модели основания (рис. 4), прослеживается лишь в локальной зоне высотой 8 – 10 м на контакте плотины с основанием.

Следует отметить, что все варианты расчета фиксируют образование в период строительства локальной зоны горизонтальных

растягивающих напряжений вблизи носка водослива. Эти напряжения, достигающие 0,3 МПа, очевидно явились причиной появления здесь неглубокой вертикальной трещины. Будучи залеченной после обнаружения, опасности для сооружения эта трещина не представляет, поскольку после достройки плотины и наполнения водохранилища в этой зоне, согласно расчету, формируются сжимающие напряжения величиной до -1,3 МПа.

Наиболее заметно изменения НДС, связанные с вариациями исходных характеристик материалов, проявляются в прогибах плотины, однако и здесь эти изменения не превышают 11%:

Варианты расчета	1	2	3	4	5
Прогибы гребня, мм	22,7	25,3	21,4	22,9	23,1
Изменение, %	0	11	6	1	2

Ввиду пренебрежимо малой роли пространственного эффекта в работе плотины и практически полного совпадения оценок напряженного состояния, полученных в трех- и двумерном расчетах, расчеты сейсмостойкости плотины были проведены на двумерной модели прямым динамическим методом в нелинейной постановке. Сейсмическое воздействие воспроизводилось аналоговой акселерограммой Лонг Бич с пиковыми ускорениями 0,21 g в горизонтальном и 0,14 g в вертикальном направлениях. В целях учета пригрузки основания массивным сооружением исходная акселерограмма редуцировалась на нижнюю границу расчетного блока основания с использованием программного комплекса [4].

Учет взаимодействия сооружения с водной средой осуществлялся через гидродинамическое давление, определяемое решением уравнения Лапласа, описывающего колебания воды при динамическом воздействии. За начальное принималось напряженно-деформированное состояние системы «плотина — основание» при основном сочетании нагрузок и базовых исходных данных (вариант 1).

Согласно расчету, максимальные ускорения при землетрясении величиной до 8,0 м/с<sup>2</sup> будут иметь место на гребне плотины. При удалении от гребня величины ускорений быстро уменьшаются и в нижней части русловой плотины не превышают 1,8 м/с<sup>2</sup>. Аналогичный характер имеет картина смещений плотины при сейсмических колебаниях. При этом максимальное горизонтальное смещение гребня составляет 2,2 см. Картина распределения максимальных за время землетрясения главных напряжений в теле плотины представлена на рис. 6. Из рисунка следует, что максиму-

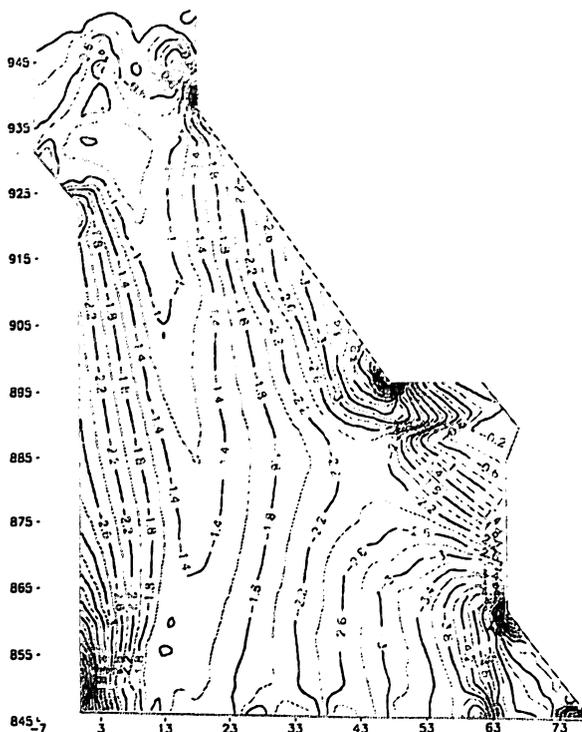


Рис. 6. Изолинии минимальных за время землетрясения главных напряжений (МПа) в плотине

мы сжатия (-8,2 и -6,2 МПа) имеют место в нижней части профиля близ низовой и верховой граней сооружения соответственно. Бетон плотины воспринимает максимальное сейсмическое воздействие без трещинообразования, однако в основании сооружения прогнозируется разуплотнение и раскрытие трещин, которое обуславливает наличие остаточных после землетрясения горизонтальных смещений сооружения в нижний бьеф, достигающих 5,5 см на гребне и 2 см на нижних отметках. При этом все компоненты НДС (ускорения, смещения, напряжения, коэффициент запаса устойчивости) после окончания землетрясения стабилизируются во всех точках сооружения, что свидетельствует о способности системы «плотина — основание» воспринять максимальное расчетное землетрясение.

Результаты выполненных расчетов явились основой для назначения так называемых критериев безопасности — критериальных значений показателей состояния плотины в эксплуатационный

период. Система критериев безопасности плотины Капанда, предназначенная для оперативного контроля надежности сооружения и безопасности его эксплуатации, включает:

критериальные значения перемещений и деформаций плотины и скального основания;

показатели напряженно-деформированного состояния и монолитности тела плотины;

показатели фильтрационного режима (пьезометрические уровни и фильтрационные расходы), определявшиеся по данным экспериментальных исследований и натуральных наблюдений.

Для установления критериальных значений диагностических показателей второго (предельного) уровня К2 выполнены расчетные исследования нештатных сценариев нагружения плотины, наступление которых может привести ее в предаварийное состояние. Моделировались нештатные ситуации, связанные с повышением уровня верхнего бьефа сверх НПУ, переливом воды через гребень плотины, выходом из строя цемзавесы и дренажа.

Установлено, что даже без учета работы агрегатов ГЭС водосбросные устройства плотины способны пропустить, не допуская перелива воды через гребень сооружения, паводковый расход величиной до  $12550 \text{ м}^3/\text{с}$ , превышающий величину максимального расхода обеспеченностью  $0,01\%$  с гарантийной поправкой ( $11000 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Указанное практически исключает вероятность аварии, связанной с затоплением машинного здания ГЭС и ОРУ вследствие перелива воды через гребень плотины.

По результатам выполненных расчетов в качестве основного сценария, использованного для назначения К2, принят сценарий выхода из строя цементационной и дренажной завес с повышением уровня верхнего бьефа до отметки гребня плотины  $953,2 \text{ м}$ . В этом случае выключается из работы участок контактной поверхности протяженностью  $18 \text{ м}$  от верховой грани плотины, а коэффициент запаса устойчивости плотины на сдвиг по контакту с основанием снижается до  $1,23$ , что ниже нормативного значения.

Сопоставление численных значений критериев безопасности первого уровня К1 с данными натуральных измерений при первом наполнении водохранилища до НПУ, осуществленном в 2002 – 2003 гг., показало их хорошее соответствие. Исключение составили лишь вертикальные перемещения плотины, вызванные наполнением водохранилища. По расчету эти перемещения были направлены вверх (подъемы), по натурным данным — вниз (осадки). Выполненный анализ указанного несоответствия показал,

что причиной его явился неучет в расчетной модели пригрузки ложа водохранилища аккумулируемой в нем водой. После введения в модель указанного фактора получено как качественное, так и количественное совпадение расчетных и измеренных осадков. Интересно отметить, что осадки гребня плотины оказались на 1,5 – 2,0 мм меньше осадков нижней части плотины, достигающих 5 – 6 мм. Отмеченное обстоятельство связано, главным образом, с упругой разгрузкой бетона верховой грани, напряжения сжатия на которой уменьшаются при наполнении водохранилища на величину до 1,5 МПа.

### **Выводы**

1. На основании выполненных исследований НДС плотины гидроузла Капанда при основном сочетании нагрузок можно оценить как благоприятное.

2. Наличие в основании плотины зон сгущения тектонических трещин оказывает лишь локальное влияние на НДС сооружения.

3. Вариации (в доверительном интервале) показателей свойств материалов плотины и основания практически не влияют на НДС сооружения и его устойчивость.

4. Сейсмостойкость плотины при воздействии на нее максимального расчетного землетрясения, имитируемого акселерограммой Лонг Бич с пиковыми ускорениями 0,21 g в горизонтальном и 0,14 g в вертикальном направлении, обеспечена.

5. Пространственный эффект в работе плотины практически не проявляется.

6. Критериальные значения показателей состояния плотины, установленные на основе выполненных расчетов, удовлетворительно согласуются с данными натурных измерений, проведенных при первом наполнении водохранилища до НПУ.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Федосов В.Е. Гидроузел Капанда в Анголе. //Гидротехническое строительство. 2000. №8/9.
2. MARC. Vol. A. Theory and User Information. Marc Analysis Research Corporation. USA. 1997.
3. Грошев М.Е., Степанова Н.Л. Методика оценки предельного состояния и несущей способности бетонных гравитационных плотин. //Сборник научных трудов Гидропроекта. Вып. 145. 1991.
4. 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 №990875. Роспатент. 1999.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «ПЛОТИНА — ОСНОВАНИЕ»\***

*Якушев А.А., Хохотва С.Н., инженеры (Филиал ОАО «Инженерный Центр ЕЭС — «Институт Гидропроект»)*

Гидроузел Шонла расположен на р. Да в Социалистической Республике Вьетнам. Установленная мощность ГЭС от 1970 МВт до 2400 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии от 7555 млн.кВт\*ч до 9209 млн.кВт\*ч. Плотина гидроузла — гравитационная, выполненная из массивного бетона. Гребень плотины находится на отм. 231,50 м, минимальная ширина гребня — 12 м. НПУ водохранилища находится в пределах отметок 205 — 215 м. Отметка основания плотины в самой низкой точке (русло) — 95,00 м, максимальная ширина по основанию ~110 м. Общая длина плотины по гребню — 1043,7 м.

Основной задачей создания математической модели участка строительства гидроузла было получение возможности исследовать напряженно-деформированное состояние (НДС) системы плотина — основание при различных сочетаниях нагрузок и воздействий в строительный и эксплуатационный периоды.

Основанием сооружений гидроузла служат эффузивные образования верхне-среднетриасового возраста, представленные базальтами, риолитами и порфиридами, а также дислоцированными осадочными породами среднего триаса — песчаниками, алевролитами и аргиллитами.

Массив коренных пород разбит системной сетью трещин. Преимущественное развитие получили 4 системы трещин, ориентация которых на разных берегах имеет некоторое отличие.

По результатам изысканий горного массива выделены четыре инженерно-геологических элемента (ИГЭ), один из которых — зона интенсивного выветривания — после разработки котлована удаляется. А остальные три вошли в математическую геомеханическую модель основания:

IB — зона выветривания;

IIA — зона разгрузки;

IIB — зона неизменного массива.

Физико-механические характеристики ИГЭ представлены в табл. 1.

Исследование НДС системы плотина — основание осуществлялось на основе численного решения методом конечных элементов (МКЭ) дифференциальных уравнений равновесия.

\*Работа выполнена инженерами Якушевым А.А и Хохотвой С.Н. под руководством д.т.н. Мгалобелова Ю.Б.

Физико-механические характеристики ИГЭ

Зона основания	Модуль деформации, МПа	Коэффициент Пуассона	Расчетные параметры сопротивления сдвигу	
			tgφ	C, МПа
IV	4500	0,285	0,72	0,275
IIA	10000	0,21	0,80	0,35
IIВ	13000	0,21	0,875	0,50

В состав математической модели плотина — основание вошла разработанная объёмная геомеханическая модель основания и конечно-элементная модель плотины.

Аппроксимация модели плотина — основание производилась объёмными конечными элементами в соответствии с геомеханической моделью основания, при этом учитывалась конфигурация плотины без каких-либо упрощений.

Было исследовано НДС для двух систем: глухая секция плотины — основание; станционная секция плотины — здание ГЭС — основание.

Для построения объёмной геомеханической модели (ОГМ) основания гидроузла был выбран расчетный блок размерами в плане 1300 x 720 м, в пределах которого расположены основные сооружения гидроузла. Нижняя граница расчётного блока была принята на 100 м ниже подошвы плотины.

Первым шагом при создании ОГМ была оцифровка серии разрезов, полученных непосредственно по результатам инженерно-геологических изысканий. Рассматривались координаты характерных точек, лежащих на границе инженерно-геологических элементов. Далее координаты этих точек вводили в программу SURFER, которая позволила разбить расчетную область равномерной сетью фиктивных скважин. Шаг скважин составил 50 м.

По координатам характерных точек равномерной сетки фиктивных скважин в программном комплексе ANSYS строились поверхности, разделяющие ИГЭ. Затем из искомым поверхностей получали твердотельные объёмы инженерно-геологических элементов.

Скальный массив участка строительства гидроузла Шонла разбит системой тектонических трещин различного порядка. В модели воспроизведены тектонические трещины высших порядков, которые, по нашему мнению, могут оказать влияние на напряженно-деформированное состояние системы плотина — основание.

Объёмная геомеханическая модель основания с системой трещин представлена на рис. 1.



Рис. 1.

Поскольку бетонная плотина разделена межсекционными швами, то исследования НДС проводились для секции совместно с «вырезанными» из основания участками, ограниченными межсекционными швами (рисунки 2 и 3).

Для создания пространственных математических моделей систем глухая секция плотины — основание и станционная секция плотины — здание ГЭС — основание выполнена конечно-элементная аппроксимация (рисунки 2 и 3). Геометрические размеры секций определялись из проектных чертежей.

Секции и скальное основание аппроксимировались объёмными конечными элементами. Общее количество конечных элементов и узлов в расчетной области составило: для глухой секции 120667 и 22983 соответственно, из них в сооружении 100522 элемента; для станционной секции 153362 и 35876 соответственно, из них в сооружении 114692 объёмных и 2588 плитных элементов.

При создании моделей секций также было учтено зонирование бетона (рис. 2в). Физико-механические характеристики бетона по зонам представлены в табл. 2.

Единые конечно-элементные модели систем глухая секция плотины — основание и станционная секция плотины — здание ГЭС — основание гидроузла представлены на рисунках 2 и 3.

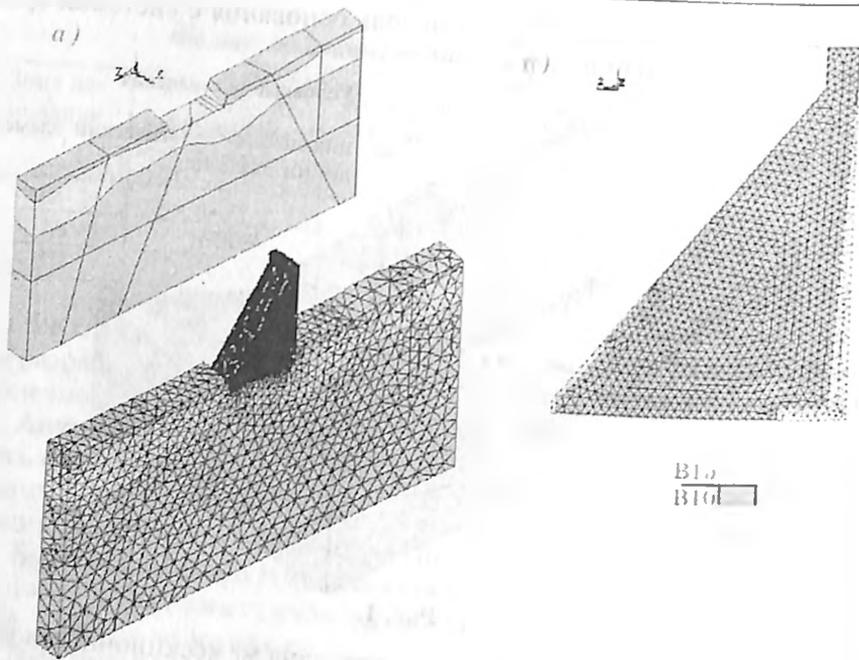


Рис. 2.

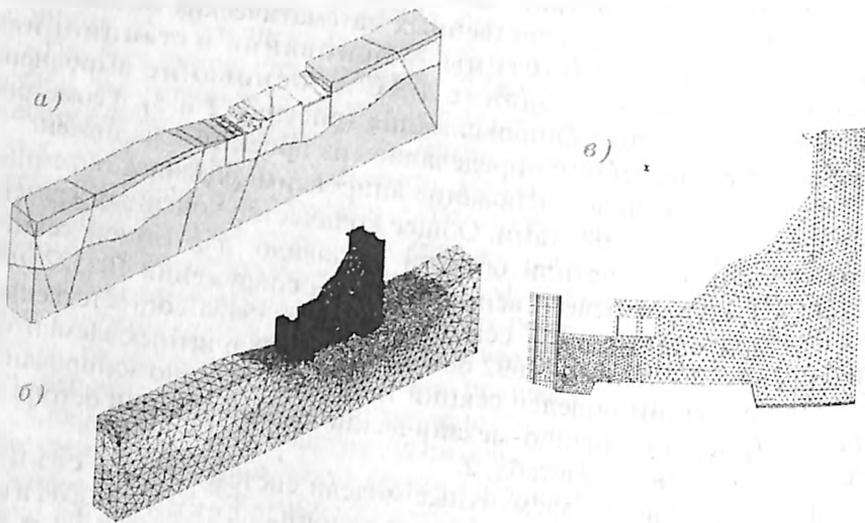


Рис. 3.

Физико-механические характеристики бетона

Класс бетона	Расчетные прочностн, МПа		Кэфф. Пуассона, $\nu$	Модуль упругости $E$ , МПа	Объем вес, $\rho$ , т/м <sup>3</sup>
	$R_b$	$R_{bt}$			
V15	8,5	0,75	0,15	21114	2,40
V20	11,5	0,90		24288	

Разработанная математическая модель системы глухая секция плотины — основание была использована при оптимизации заложения низовой грани плотины. Оптимизация профиля плотины выполнена путем анализа НДС системы плотины — основание. Был решен ряд задач для моделей с вертикальной верховой гранью и при разном заложении низовой грани: 0,75; 0,80; и 0,85.

Расчеты выполнены для четырех сочетаний нагрузок и воздействий в соответствии с «Критериями проектирования»: основного (НПУ), особого-2 (PMF), особого-3 (MCE) и особого-4 (DE + нарушение нормальной работы противофильтрационного контура плотины). В последнем случае ординаты эпюры фильтрационного давления принимались на линии цементационной завесы — 0,5Н, на линии дренажа — 0,3Н (Н — напор на плотину), что отличалось от трех первых случаев, где ординаты принимались соответственно 0,4Н и 0,2Н.

Расчеты проводились в линейно упругой постановке в пространственных условиях для секции шириной 40 м.

В исследованиях был воспроизведен фрагмент геомеханической модели, разработанной в ЦНОП и ограниченный двумя вертикальными плоскостями, проходящими через межсекционные швы плотины, с расчетными значениями физико-механических характеристик, представленных в табл. 1.

Расчетные значения физико-механических характеристик бетона плотины классов V15 и V20 приведены в табл. 2.

В табл. 3 представлены значения допускаемых напряжений в плотине на сжатие и растяжение, а в табл. 4 — ограничения глубин зоны растягивающих напряжений на контакте плотины с основанием  $d_1$ , вычисленных в предположении упругой работы системы плотины — основание и принятых в соответствии с критериями прочности для сооружений гидроузла.

По контакту бетонной плотины со скальным основанием должны обеспечиваться необходимые условия устойчивости, приведенные в табл. 5.

Таблица 3

Допустимые напряжения в плотине

Допускаемое напряжение, МПа	Класс бетона	Сочетание нагрузок и воздействий			
		Основное	Особое-2	Особое-3	Особое-4
на сжатие	B15	6,50	8,40		
	B20	8,88	11,45		
на растяжение	B15	0,71	0,92	1,01	
	B20	0,86	1,12	1,23	

Таблица 4

Ограничение глубин зоны растягивающих напряжений на контакте плотины с основанием  $d_1$

Вариант заложения нижней грани	Основное сочетание нагрузок и воздействий	Особые сочетания нагрузок и воздействий	
		Особое-2	Особые-3 и 4
0,75	3,0 м	8,2	19,8
0,80		8,8	21,3
0,85		9,4	22,6

Таблица 5

Минимальные значения коэффициентов устойчивости

Наименование	Сочетание нагрузок и воздействий		
	основное	особые-2 и 4	особое-3
Коэффициент устойчивости	1,32	1,13	1,06

На рис. 2 представлена конечно-элементная аппроксимация системы глухая секция плотины — основание.

Основные результаты расчетов сведены в табл. 6.

Сопоставление параметров НДС системы плотина-основание показывает, что для всех вариантов заложения нижней грани плотины при всех рассмотренных сочетаниях нагрузок:

в плотине отсутствуют вертикальные растягивающие напряжения  $S_Y$  (табл.6);

величины главных растягивающих напряжений  $S_1$  в плотине слабо зависят от заложения нижней грани;

главные сжимающие напряжения  $S_3$  в плотине далеки от допускаемых напряжений в бетоне на сжатие;

для всех вариантов заложения нижней грани плотины при всех сочетаниях нагрузок и воздействий глубина зон растягивающих контактных напряжений  $S_Y$  намного меньше допускаемой (табл.

**Безопасность энергетических сооружений**

4) и зоны растягивающих SY не пересекают цементационную завесу, за исключением варианта плотины с заложением низовой грани 0,75 при особом-3 (МСЕ) сочетании нагрузок (табл. 6);

Таблица 6

**Основные результаты расчета НДС системы плотина —  
основание и результаты устойчивости плотины  
с заложениями низовой грани 0,75; 0,80 и 0,85**

Наименование		(НПУ)	(PMF)	(МСЕ)	(DBE)		
0.75	в плот.	Прогиб плотины*, мм	29,3	45,2	66,5	51,3	
		SY у верх. гр.	-2,85	-1,7	1	-1,01	
		S3 у низ. гр.	-5,45	-6,76	-5,46	-5,2	
	дл.зоны раст.напр. SY на конт., м		0,9	3,75	12,	3,	
	в осн.	S1 под верх.гр.	1,45	1,51	2,67	1,74	
		S3 под низ.гр.	-2,84	-3,59	-1,94	-3,72	
	Коэффициент устойчивости (доли за счет трения и сцепления)		<b>1,83</b> (1,38+ 0,45)	<b>1,48</b> (1,08+ 0,40)	<b>1,56</b> (1,16+ 0,40)	<b>1,62</b> (1,20+ 0,42)	
	0.80	в плот.	Прогиб плотины*, мм	25,31	39,33	61,89	44,6
			SY у верх. гр.	-3,19	-1,55	1,16	-0,71
			S3 у низ. гр.	-6,09	-6,52	-4,89	-5,68
дл.зоны раст.напр. SY на конт., м		0	1,6	8,5	2,09		
в осн.		S1 под верх.гр.	1	1,00	2,01	1,5	
		S3 под низ.гр.	-3,65	-4,47	-1,91	-3,71	
Коэффициент устойчивости (доли за счет трения и сцепления)		<b>1,95</b> (1,47+ 0,48)	<b>1,59</b> (1,16+ 0,43)	<b>1,65</b> (1,23+0,4 2)	<b>1,73</b> (1,28+ 0,45)		
0.85	в плот.	Прогиб плотины*, мм	21,7	32,8	56,7	38,5	
		SY у верх. гр.	-3,68	-1,2	0,93	-1,8	
		S3 у низ. гр.	-4,23	-5,4	-3,14	-4,89	
	дл.зоны раст.напр. SY на конт., м		0	0,25	7,58	3,5	
	в осн.	S1 под верх.гр.	1,01	1,5	2	1,58	
		S3 под низ.гр.	-3,17	-3,79	-2,15	-2,72	
	Коэффициент устойчивости (доли за счет трения и сцепления)		<b>2,08</b> (1,57+ 0,51)	<b>1,69</b> (1,23+ 0,46)	<b>1,74</b> (1,30+0,4 4)	<b>1,83</b> (1,36+ 0,47)	

\* разница в горизонтальных перемещениях точек на гребне и на контакте верхней грани с основанием.

главные растягивающие напряжения  $S_1$  в основании под верховой гранью также слабо зависят от заложения низовой грани и являются следствием решения линейно упругой задачи; при учете реальной прочности основания на растяжение, близкой к нулю, они должны исчезнуть; с этой точки зрения не представляют опасности зоны растягивающих напряжений  $S_1$ , пересекающие цементационную завесу и дренаж.

В табл. 6 также представлены результаты расчетов устойчивости плотины по контакту с основанием для трех вариантов заложения низовой грани при четырех сочетаниях нагрузок и воздействий.

Во всех вариантах заложения низовой грани при всех сочетаниях нагрузок и воздействий плотина обладает необходимой устойчивостью на сдвиг, при этом следует отметить, что при особом сочетании-3 (МСЕ) во всех вариантах заложения низовой грани доля коэффициента устойчивости за счет трения меньше единицы.

Таким образом, устойчивость плотины не является определяющей при выборе глубины врезки в рассмотренных пределах отметок.

Выполненные исследования НДС и прочности системы плотина — основание и устойчивости плотины показали, что в рассмотренном диапазоне заложения низовой грани плотины при заданных прочностных характеристиках бетона плотины и скального основания все варианты плотины удовлетворяют условиям прочности бетона плотины и скального основания, а также условиям устойчивости плотины на сдвиг по контакту бетон — скала.

На основании приведенных исследований можно рекомендовать профиль плотины с наименьшим объемом бетона, при котором заложение низовой грани составляет 0,75.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОРМАТИВНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ПРИ АНАЛИЗЕ ОБРУШЕНИЯ ВЫСОКОЙ ПЛОТИНЫ ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Красильников Н.А., кандидат техн. наук (ОАО «НИИЭС»)*

Грунтовая плотина на р. Мармарик высотой 64 м и длиной по гребню 500 м была построена в 1967-74 гг. Однако, вскоре после окончания строительства, 27 ноября 1974 г. на ее низовом откосе произошел крупный оползень на длине около 400 м. Ниже кратко описаны конструкция грунтовой плотины, инженерно-геологические условия ее основания, деформации низового откоса плотины при оползне. Водохранилище плотины к моменту её аварии ещё не заполнялось, сейсмического воздействия на сооружение не зафиксировано. В статье приводятся материалы геотехнического контроля на плотине в строительный период, а также соответствующие расчеты устойчивости низового откоса грунтовой плотины к моменту аварии.

### **Конструкция плотины**

Грунтовая плотина (рисунки 1 и 2) имеет широкое ядро, выполненное из делювиальных суглинков и глин, и боковые призмы, которые по проекту предполагалось выполнить из песчано-гравелистого материала. Ширина плотины по гребню 10 м, ширина ядра поверху 8 м, крутизна откосов ядра 1 : 0,75. Крутизна верхового откоса от 1 : 3 у гребня до 1 : 4 в нижней части откоса. Крутизна низового откоса от 1 : 2 в верхней части плотины до 1 : 3,5 в нижней части откоса. На низовом откосе плотины имеется 6 берм шириной 2 м. На поверхности верхового откоса имелось крепление из железобетонных плит толщиной 0,15 м. Под ядром выполнена противофильтрационная завеса.

Однако в самом начале строительства карьеры грунта боковых призм были частично заменены и фактически (рис. 1) песчано-гравелистый грунт в боковых призмах находится только в нижней и верхней их частях на отм. 0 — 6 м и 30 — 64 м. В средней по высоте части плотины на отм. 6 — 32 м боковые призмы выполнены из делювиальных супесей и суглинков. Эти грунты разрабатывались в 6 карьерах, находящихся в 2 — 7 км от створа в верхнем бьефе плотины.

Отсыпка грунта в теле плотины начата в 1967 г. и окончена в 1974 г. График возведения плотины показан в табл. 1.

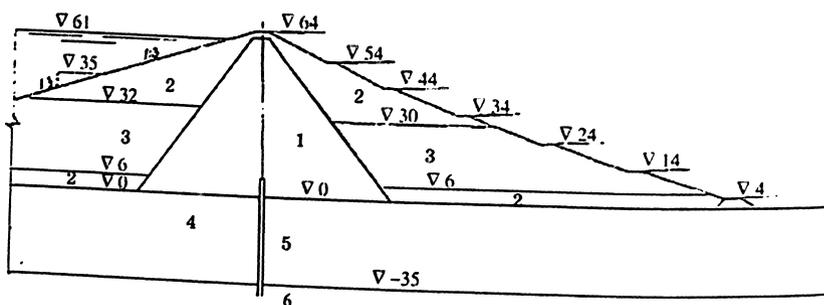


Рис. 1. Схема грунтовой плотины на р. Мармарик: 1 — ядро плотины, выполненное из суглинков и глины; 2 — часть верховой и низовой призмы, выполненная из песчано-гравелистого грунта; 3 — часть верховой и низовой призмы, выполненная из переувлажненных супесей и суглинки; 4 — аллювиальное основание; 5 — противодиффузионная завеса; 6 — гранодиорит

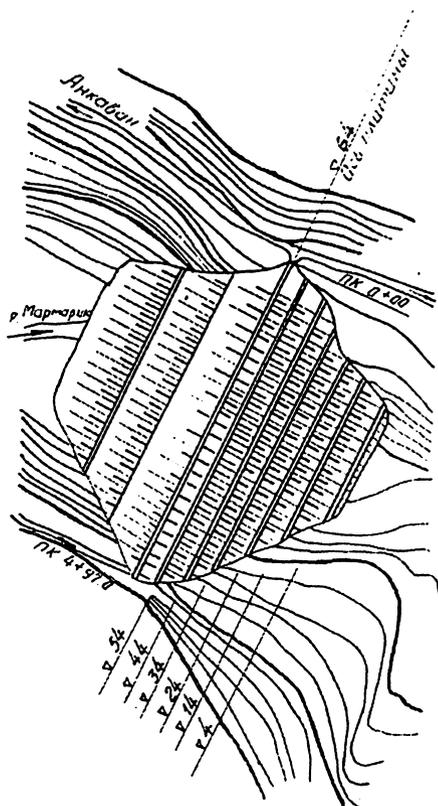


Рис. 2. План плотины

Таблица 1

Годы	Высота элемента плотины, м	
	Ядро	Призма
1967-1968	4,0	6,0
1969-1970	23,0	19,0
1971-1972	42,0	42,5
1973-1974	64,0	64,0

Грунт в ядре укладывался слоями по 20 – 25 см, в боковых призмах по 30 – 40 см и уплотнялся гружеными автосамосвалами. Каких-либо специальных мероприятий по регулированию влажности и плотности грунта на плотине не предусматривалось. Грунт укладывался обычно с той влажностью, которую имел в карьере, и с той последовательностью, с которой разрабатывался в карьерах.

#### Инженерно-геологические условия основания плотины

По данным проекта в основании плотины в пойменной части сооружения залегает 35-метровая толща аллювиальных отложений — гальки, гравия, небольших валунов с заполнением пор глинистым песком и супесью, содержащих также линзы и прослойки илистых суглинков, которая подстилается коренными гранодиоритами, с поверхности трещиноватыми. Аллювиальные отложения содержат частиц 30 – 20 мм — 41%, 20 – 2 мм — 32%, 2 – 0,15 мм — 23% и менее 0,16 мм — 3,5%. В примыкании к бортам аллювиальные отложения замещаются делювиальными. Толщина этих отложений в правом примыкании достигает 30 м и более, в левом примыкании — 5 – 10 м. Делювиальные отложения представлены супесями и суглинками с включениями дресвы и щебня. Прочностные и деформационные свойства грунтов основания в проекте не исследовались. Коэффициент их фильтрации по данным опытных откачек из двух скважин, расположенных на оси плотины,  $A \cdot 10^{-2}$  см/с, где  $A$  — любое число от 1 до 9.

Коренные породы — гранодиориты, трещиноватые, частично с заполнением трещин глинистым материалом. Кровля гранодиоритов разрушена на левом берегу до 2 – 4 м, на правом до 15 м и более.

#### Деформация низового откоса плотины

27 ноября 1974 г. гребень плотины на длине 200 м опустился, просел местами до 3 – 4 м. На низовом откосе появились трещины и выпучивание грунта в пределах отметок выше 25 – 30 м. Эти деформации начались на пикете 4 + 20, примерно в 70 м от примыкания гребня к правому борту.

В последующем оползневые деформации охватили низовой откос на длину 350 м, а глубина просадки гребня плотины достигла 8 — 15 м. Оползень захватил весь гребень плотины и верхние 40 — 45 м сооружения выше отг. 20 м. Тело оползня было разбито (рис. 3) трещинами, ширина которых местами достигала 1,5 м. Трещины на гребне плотины отсутствовали только на участке от пикета 0 до пикета 0 ÷ 70 м.

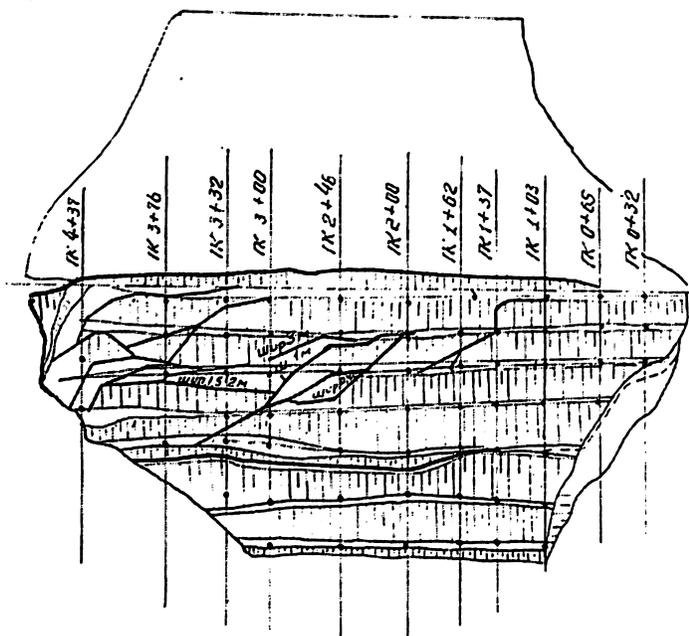


Рис. 3. Схема размещения трещин и поверхностных марок на низовом откосе плотины на р. Мармарик

К 6 — 12 декабря 1974 г. была выполнена нивелировка плотины по 11 поперечникам. Поскольку к моменту образования оползня какой-либо контрольно-измерительной аппаратуры на плотине не было, судить о величине деформаций откоса на начальном этапе можно было только по положению берм плотины до и после аварии. Эти наблюдения, результаты которых приведены на рис. 3, показали, что в центральной части плотины (от пикета 1 до пикета 4) имели место и вертикальные и горизонтальные деформации, причем соотношение их сильно зависело от положения рассматриваемой точки.

Скорость перемещений со временем существенно снижалась. Так, в период с 12 декабря 1974 г. по 11 января 1975 г. прошло 65 — 85% всей деформации, а в последующие два месяца только 15 — 35% деформации.

Таким образом, анализ деформации низового откоса в декабре-марте 1974-75 гг. показывает, что в данном случае мы имеем дело с глубоким оползнем, у которого поверхность скольжения проходит сначала через ядро, ориентировочно до отм. 20 — 30 м, а затем через ослабленную зону низовой призмы на отм. 6 — 30 м; в бортовом участке плотины кривая скольжения, по-видимому, близка к круглоцилиндрической. В средней части плотины на участке пикета 1 + 37 до пикета 3 + 00 кривая скольжения в ядре близка к круглоцилиндрической, а в призме — к плоской.

Автором был выполнен анализ устойчивости обрушенного откоса плотины. Он включал в себя обработку материалов геотехнического контроля на строящейся плотине с целью установления необходимых для расчета физико-механических свойств грунтов ядра и призм плотины, а также выполнение серии расчетов устойчивости обрушенного откоса плотины по методике и программе, описанной в [1, 2, 3].

Целью этой работы была попытка установить, можно ли было, используя имеющиеся материалы геотехнического контроля на плотине в начальный период строительства, прогнозировать эту аварию.

При геотехническом контроле был выполнен значительный объем испытаний образцов грунта ядра и обеих боковых призм, включающий определение плотности и влажности (1200 определений), гранулометрического состава (235 определений), параметров сопротивления сдвигу грунтов ядра (55 определений) и боковых призм (39 определений).

Анализ материалов геотехнического контроля показал, что грунт ядра имел предел текучести  $W_T = 36 - 52\%$ , предел раскатывания  $W_P = 16 - 35\%$ , число пластичности  $W_n = 10 - 24\%$ , средняя влажность грунта ядра 26%, средняя плотность скелета  $\rho_d = 1,53 \text{ г/см}^3$ . Минимальные и максимальные значения влажности — 8 — 56%, плотности скелета — 1,2 — 2,1 г/см<sup>3</sup>. Влажность 10% и 90% обеспеченности 15 и 35%, соответственно; плотность скелета 1,31 г/см<sup>3</sup> — 1,75 г/см<sup>3</sup>. По годам укладки влажность и плотность грунта были существенно различными: в 1972 г. в среднем 30%, а в 1970 г. — 21,5%. Средние значения оптимальной влажности 22,8% при плотности скелета 1,6 г/см<sup>3</sup>. Средняя влажность по ядру была на 3 — 7% выше оптимальной влажности.

По данным геотехконтроля боковые призмы плотины можно разделить на две зоны, в первой из них грунт укладывался в 1967-68 гг. на отм. 0 – 6 м и в 1972-74 гг. на отм. 30 – 64 м. Это обычно гравелистый песок, песок, дресва и редко супесь. Средний гранулометрический состав этих материалов показан в табл. 2.

Таблица 2  
Средний гранулометрический состав песчано-гравелистого материала боковых призм

Год	Гранулометрический состав частиц, %				
	более 10 мм	10-1 мм	1-0,05 мм	0,05-0,005 мм	менее 0,005 мм
1967	—	$\frac{31,7^*}{29,0^{**}}$	$\frac{56,0}{45,2}$	$\frac{9,7}{6,5}$	$\frac{2,6}{3,6}$
	9,2				
1968	$\frac{21,3}{22,8}$	$\frac{46,5}{40,0}$	$\frac{32,4}{32,8}$	—	—
				—	—
1972	—	$\frac{66,5}{71,3}$	$\frac{25,9}{23,5}$	$\frac{4,4}{3,6}$	$\frac{3,2}{1,6}$
	—				
1973	—	$\frac{68,0}{53,0}$	$\frac{26,0}{33,0}$	$\frac{6,0}{13,0}$	$\frac{1,0}{1,0}$
	—				

Примечание: \* — верховая призма плотины; \*\* — низовая призма плотины

Вторая зона — грунт, укладывавшийся в 1969-71 гг. на отм. 6 – 30 м. Это супесь и суглинок.

В первой зоне средняя влажность грунта обеих призм 9%, средняя плотность скелета 1,81 г/см<sup>3</sup>. Во второй зоне средняя влажность 13,5 – 14%, средняя плотность скелета 1,71 – 1,75 г/см<sup>3</sup>. В первой зоне плотины 78% образцов имеют влажность, отличающуюся от средней по слою не более ±2%, и 88% образцов имеет плотность скелета более 1,75 г/см<sup>3</sup>. Во второй зоне плотины влажность, отличную от средней на ±3%, имеют только 39% образцов, а отличную на ±5% – 54% образцов. Количество образцов, имеющих плотность скелета более 1,60 г/см<sup>3</sup>, — 67%, более 1,70 г/см<sup>3</sup> — 40%, более 1,75 г/см<sup>3</sup> — 25%.

Коэффициент фильтрации ( $K_f$ ) грунта ядра определялся методом Нестерова в 67 полевых опытах, материала верховой призмы — в 74 опытах и низовой призмы — в 69 опытах. По этим данным коэффициент фильтрации материала призм изменялся в диапазоне от 0,01 м/сут до 1 м/сут.; для грунта ядра полученные значения коэффициента фильтрации несколько ниже — от 0,01 м/сут до 0,1 ÷ 0,4

м/сут. Заметим, что по данным других исследователей величина коэффициента фильтрации подобного грунта обычно в 50 – 1000 раз меньше, чем в рассматриваемом случае (при прочих равных условиях, особенно с учетом последующего уплотнения грунта).

Результаты определения прочностных свойств грунта ядра и призм показаны в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения в процессе геотехконтроля параметров сопротивления сдвигу материала ядра и боковых призм плотины

№ п/п	Конструктивный элемент плотины	Средние		Количество образцов, экземпляров
		φ, град	МПа	
1	Ядро	14°9'	0,02	55
2.	Боковые призмы, зона 1 (отм.0-6, 30-64 м)	32°10'	-	6
3.	Боковые призмы, зона 2 (отм. 6-32 м)	19°5'	0,01	33

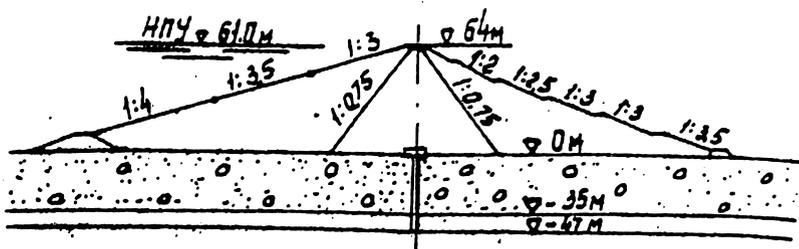
Таким образом, геотехнический контроль в процессе строительства показал, что в нижней части призм с отм. 6,0 и до отм. 30 – 32 м имела ослабленная зона. Именно она являлась основной причиной аварии.

Автором была выполнена серия расчётов аварийной плотины с использованием методики и программы расчёта, описанной в [2, 3]. Результаты расчётов показаны на рис. 4.

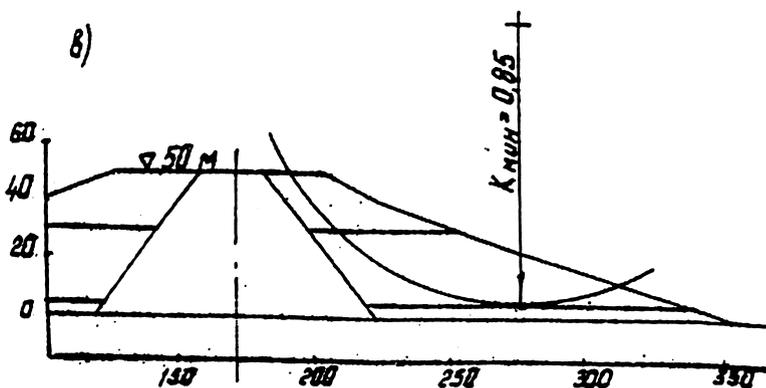
Результаты расчёта устойчивости обрушенного откоса плотины на р. Мармарик сравнивались с материалами многочисленных расчётов обрушенных грунтовых откосов, в том числе и грунтовых плотин, описанных в работах проф. Н.Н. Маслова и его сотрудников Ю.С. Козлова, В.Т. Сапожникова, а также в работах автора. В этих работах показано, что для обрушенных откосов в рассматриваемых грунтовых условиях имеют место следующие характерные обстоятельства:

обычно значение коэффициента устойчивости обрушенного грунтового откоса, при использовании в расчётах средних значений показателей сопротивления сдвигу, близко к 1. В рассматриваемом случае  $K_{уст}^{мин} = 1,03$ . Это показывает, что лаборатория геотехнического контроля на строительстве плотины Мармарик в 1967 – 1974 гг. правильно оценила реальные прочностные свойства грунтов тела плотины;

а).



б)



в)

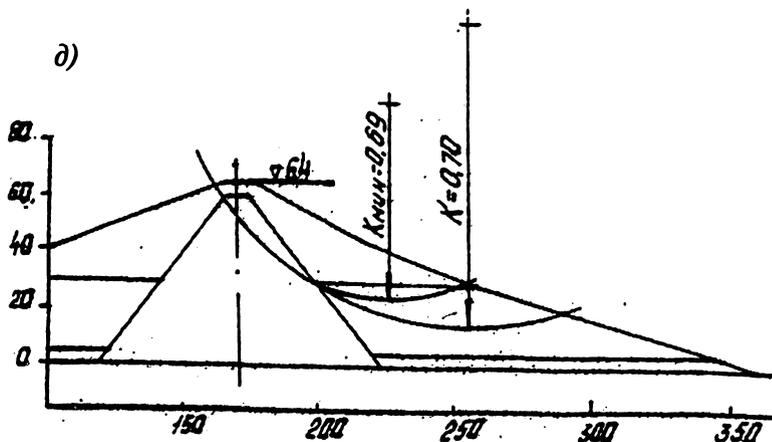
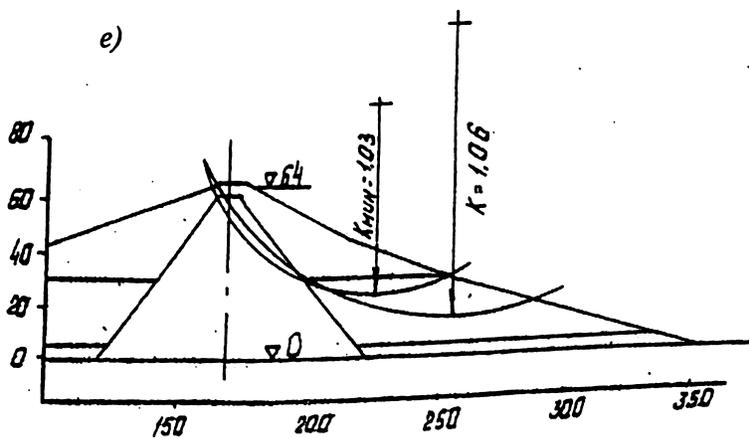
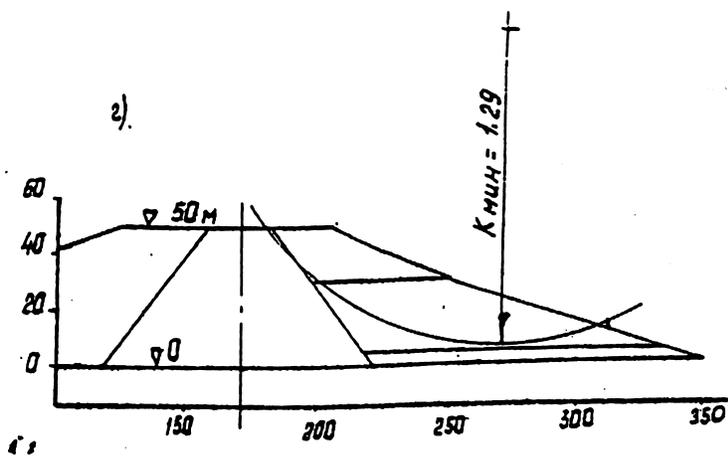
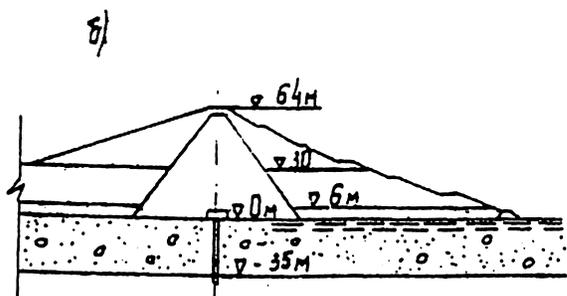


Рис. 4. Поперечное сечение

а) по рабочим чертежам;

б) по данным геотехконтроля; а также результаты расчета устойчивости сдвигу приняты по данным геотехконтроля среднеминимальными.



плотины на р. Мармарик  
 низового откоса плотины для вариантов е), д), когда параметры сопротив-  
 и г), е), то же средними

фактическая поверхность скольжения обрушенного откоса могла пройти в любом месте зоны сооружения, охваченной потенциальными поверхностями скольжения, характеризующимися значениями коэффициента устойчивости  $\Delta K_{уст} + (3 \div 5)\%$ . В данном случае фактическая поверхность скольжения прошла примерно в средней части этой зоны.

Исследования также показали, что обеспечить нормативную устойчивость рассматриваемого откоса можно было несколькими способами, в частности:

оборудовать часть сооружения, выполненную переувлажненными глинистыми грунтами — супесью, суглинком и глиной — песчаными дренажами для консолидации глинистых грунтов в строительный период и соответствующего увеличения их прочности (при контроле за этим процессом по контрольно-измерительной аппаратуре);

уположить откосы плотины в соответствии с фактическими показателями сопротивления сдвигу глинистых грунтов, определёнными в процессе геотехнического контроля, в строительный период.

#### **Выводы и рекомендации**

1. Исследования показали высокую эффективность нормативной методики расчета устойчивости откосов грунтовых плотин, описанную в нормативных документах [1, 2, 3], когда они используются совместно с соответствующими материалами геологических и геотехнических изысканий и исследований в период проектирования и строительства сооружений.

2. Основной вывод по рассматриваемой аварии: данную аварию можно было предсказать и своевременно предотвратить еще в 1971-72 гг., если бы материалы геотехнического контроля на строящейся плотине были бы вовремя обработаны и выполнены соответствующие расчеты устойчивости откосов сооружения, предусмотренные нормами [1, 3].

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. **СНиП 2.06.05-84\***. Плотины из грунтовых материалов. Госстрой СССР. М. 1991.
2. **Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов.** Раздел: «Расчет устойчивости откосов грунтовых плотин». П 783-88\*/ Гидропроект. М. 1988.
3. **Красильников Н.А.** Обрушение высокой плотины из грунтовых материалов. // «Гидротехническое строительство». 2001. № 7.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЭКОАУДИТ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КАК ОСНОВА БОРЬБЫ С БИОПОМЕХАМИ В СИСТЕМАХ ТЕХВОДОСНАБЖЕНИЯ**

*Суздалева А.Л., Безносков В.Н., доктора биол. наук (ОАО НИИЭС),  
Кучкина М.А., кандидат биол. наук (ООО «Альфамед 2000»)*

На основе обобщения имеющегося опыта практической работы, излагаются основные положения новой концепции снижения затрат на борьбу с биопомехами. В основе новой концепции лежит системный подход к анализу нежелательных явлений, обусловленных жизнедеятельностью организмов. На современном этапе проблемы борьбы с биопомехами и экологические проблемы водных объектов, использующихся в качестве источников систем техводоснабжения, в большинстве случаев рассматриваются изолированно. Вместе с тем, организмы, вызывающие биопомехи, как и любые другие формы жизни, существуют не обособленно, а являются компонентами водных экосистем. Уровень их развития, а следовательно и наносимого ими вреда, определяется, прежде всего, структурно-функциональной организацией данных систем.

Как свидетельствует анализ обширных материалов, накопленных за десятилетия интенсивных исследований в данной области, практически всегда массовое развитие каких-либо водных организмов, будь то микроорганизмы или крупные формы водных животных и растений, приводит к возникновению биопомех. В связи с этим единственно возможный путь борьбы с биопомехами — это предотвращение подобных «вспышек» развития. Здесь возможны два направления деятельности. Первое из них — уничтожение нежелательных организмов различными способами. Второе направление — профилактическое. Оно состоит в недопущении возникновения в водоемах условий для массового развития этих организмов. Очевидно, что второй путь в целом более перспективен, поскольку заключается в борьбе с причинами биопомех, а не с их последствиями.

С точки зрения системного подхода, борьба с биопомехами рассматривается не как простое уничтожение каких-то видов, затрудняющих производственную деятельность, а как предотвращение изменений в водной среде, обуславливающих развитие данных организмов (рис. 1). Весьма часто, первопричиной интенсификации экологических процессов, приводящих к образованию биомомех, является загрязнение вод [1 — 4]. Установление

субъектов хозяйственной деятельности, по вине которых у других водопользователей возникают биопомехи, в ряде случаев позволяет, через применение природоохранного законодательства, хотя бы частично взыскать ущерб, обусловленный данными явлениями [5]. Первым шагом на этом пути является организация экологического мониторинга, то есть системы отслеживания изменений в состоянии водного объекта и выявления причин, вызывающих ухудшение качества вод. Получаемые результаты позволяют установить первопричину возникновения биопомех. Однако сами по себе данные мониторинга не могут непосредственно быть использованы в качестве действенного инструмента борьбы с виновниками нежелательных изменений водной среды. Поэтому эффективная система профилактики и борьбы с биопомехами должна обязательно дополняться экологическим аудитированием (экоаудитом) всех водопользователей данного водного объекта, под которым понимается комплексная документированная оценка субъектом хозяйственной или иной деятельности требований в области охраны окружающей среды [6]. При этом, в соответствии с Водным кодексом РФ, к числу водопользователей относятся не только физические и юридические лица, осуществляющие забор воды, но и все хозяйствующие субъекты, сбрасывающие в данный водоем свои стоки, а также собственники, владельцы и пользователи земельных участков, примыкающих к данному водному объекту [7]. Ниже рассмотрим эти положения более подробно.

### **Основные виды биологических помех**

Довольно распространено ошибочное и неполное мнение, согласно которому биопомехи заключаются в непосредственном контакте организмов с какими-то техническими узлами, в результате чего работа данных узлов нарушается. Но, как показывает практика, серьезные затруднения возникают и в том случае, если подаваемая на объект вода, хотя и не содержит нежелательных организмов, но в результате их жизнедеятельности становится некондиционной или вследствие развития этих организмов снижается объем воды, подаваемый на технические объекты. Таким образом, в широком смысле «биопомехи» — это любые явления, прямо или косвенно обусловленные живыми организмами, которые затрудняют нормальную работу каких-либо технических устройств.

Особенно заметную роль биопомехи играют при эксплуатации

## Безопасность энергетических сооружений

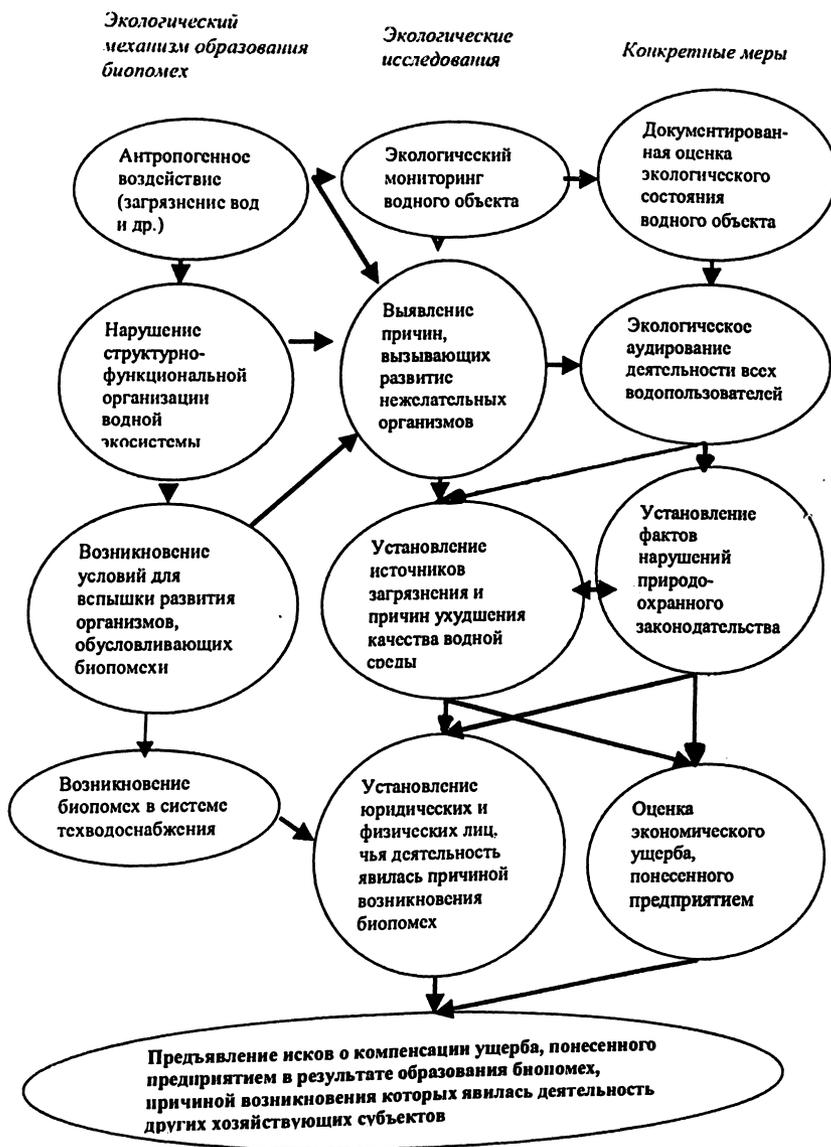


Рис. 1. Схема процесса образования биопомех и система экологического менеджмента по их ликвидации

систем техводоснабжения промышленных и энергетических объектов, а также гидротехнических сооружений. Экономический ущерб от этих явлений иногда существенно снижает рентабельность производства, а в некоторых случаях даже обуславливает необходимость прекращения работы. Известны случаи остановки ГЭС из-за биопомех [8]. По этой причине разработка эффективных мер борьбы с биопомехами является весьма актуальной задачей. Существует большое количество разнообразных способов уничтожения нежелательных организмов, поселяющихся внутри систем водоснабжения и на поверхности гидротехнических сооружений [9]. Однако, несмотря на разнообразие подходов (химические, физические, механические методы борьбы), всех их объединяет то, что их эффект носит сугубо временный характер. Через определенный период те же самые биопомехи возникают вновь и процесс их образования иногда даже интенсифицируется.

На основании анализа собственных и литературных [1, 10, 11] данных авторами разработана следующая классификация биопомех, возникающих при работе систем техводоснабжения энергетических и производственных объектов.

**1. Биопомехи, возникающие непосредственно в системах техводоснабжения.** Среди разнообразных биологических помех данной группы можно выделить две группы явлений: 1) биопомехи, обусловленные жизнедеятельностью организмов, поселяющихся внутри системы водоснабжения. По терминологии Э.К. Голубовской [10] — биопомехи, вызываемые автохтонными организмами (то есть организмами, обитающими непосредственно на участке системы, где наблюдается возникновение биопомех); 2) биопомехи, обусловленные жизнедеятельностью организмов, обитающих за пределами системы, в источнике водоснабжения. Эти явления в совокупности обозначаются как биопомехи, вызываемые аллохтонными (то есть чужеродными) организмами. Внутри каждой из этих групп, в свою очередь, можно выделить несколько отдельных категорий.

**1.1. Автохтонные биопомехи.** Данные нежелательные явления обусловлены главным образом так называемым *обрастанием* (биообрастанием) внутренней поверхности систем техводоснабжения различными организмами.

Последствия жизнедеятельности относительно крупных обрастателей и микроскопических организмов во многом отличны. Существенно различаются и экологические механизмы формирования макрообрастания и микрообрастания систем водоснабжения,

в связи с чем их исследование в большинстве случаев проводится обособленно друг от друга.

1.1.1. **Макрообрастание** или макроперифитон состоит из относительно крупных организмов, хорошо различимых невооруженным глазом (размер более 2 мм). Основу сообщества макрообрастания систем водоснабжения практически всегда составляют так называемые сестонофаги-фильтраторы (сестон — это совокупность взвешенных в воде органических частиц, в том числе микроскопических планктонных организмов). Входящие в данную группу разнообразные формы водных беспозвоночных (губки, моллюски и др.) питаются, отфильтровывая проходящую через систему воду. Существует общая закономерность — чем больше содержится в воде органической взвеси, тем более интенсивно развивается макрообрастание. В свою очередь увеличение в воде количества органических частиц обуславливается антропогенным загрязнением и эвтрофированием водных объектов. Таким образом, несмотря на то что автохтонные организмы существуют внутри системы, уровень их развития во многом определяется экологическим состоянием водоема, использующегося в качестве источника водоснабжения.

Последствия развития макрообрастания внутри технических агрегатов общеизвестны. Прежде всего, это снижение скорости тока воды, сокращение подачи воды и закупорка водоводов. Общий ущерб, наносимый этим видом биопомех хотя точно и не подсчитывался, но без сомнения ежегодно составляет не менее десятков миллионов долларов.

1.1.2. В качестве отдельного вида биопомех рассматриваются различные формы **биоповреждения** материалов, обусловленные макрообрастанием. Некоторые организмы способны «врастать» в субстрат, на котором они обитают, разрушая его. Существуют также виды водных животных (так называемые, сверлильщики или перфораторы), высверливающие отверстия. Кроме того, продукты жизнедеятельности некоторых водных организмов представляют собой химически агрессивные вещества (органические и неорганические кислоты, аммиак и др.), разрушающие поверхность материалов, из которых изготовлены технические узлы систем водоснабжения. Данные явления получили название биокоррозии. Развитие макрообрастания может также сопровождаться явлениями электрохимической коррозии, возникающей вследствие разности потенциалов на обросших участках и участках, свободных от обрастания [9].

1.1.3. **Микрообрастание** или микроперифитон — это со-

вокупность микроскопических организмов (бактерий, водных грибов и др.), обитающих на поверхности технических узлов, контактирующей с водной средой. Внешне это проявляется в образовании на внутренней поверхности водоводов и технических узлов так называемой «биопленки», то есть слизистой пленки, состоящей из микроорганизмов (преимущественно бактерий) и выделяемой ими слизи. Иногда для обозначения этого вида биопомех используются близкие по значению понятия «бактериальные биообрастания» [1] и «органические отложения» [12]. Несмотря на то что слизистая микробиальная пленка содержит в среднем около 85% воды, она представляет собой довольно прочную структуру, противостоящую механическому воздействию потока воды. Мощность биопленки может достигать нескольких сантиметров, что существенно ограничивает подачу воды. Если пленка образуется на поверхности теплообменной аппаратуры, то это значительно снижает эффективность ее работы. Так, например, было установлено, что вследствие образования на трубках конденсаторов ТЭС слоя обрастания толщиной всего 0,1 мм теплопередача снизилась с 3700 до 900 ккал/(м<sup>2</sup> ч град.), то есть более чем в 4 раза [13].

Как и в случае с большинством других видов биопомех, интенсивность образования биопленки главным образом зависит от качества вод, поступающих в систему. Основным источником «питания» бактерий, образующих биопленку, служит растворенное органическое вещество (РОВ), приносимое с током воды. Чем выше концентрация РОВ в водоеме, тем интенсивнее образование биопленки. В свою очередь главным источником РОВ в водоемах являются процессы их загрязнения и эвтрофирования. Экологические механизмы данных явлений будут рассмотрены несколько ниже. Здесь же в качестве иллюстрации можно привести следующие интересные данные, полученные в ходе экспериментов, моделирующих процесс нарастания биопленки [1]. Как показали полученные результаты, прирост биопленки при среднем поступлении органики, равном 0,25 г/л сухого беззольного органического вещества в сутки, составил 0,016 мм, при уменьшении поступления до 0,16 г/л-сут эта величина снижалась до 0,013 мм и, наконец, при поступлении 0,064 г/л сут органики прирост пленки составил 0,0066 мм.

1.1.4. М и к р о б н а я к о р р о з и я . Разнообразные продукты жизнедеятельности бактерий и других микроорганизмов, образующих биопленку (кислород, углекислый газ, аммиак, сероводород, органические кислоты и др.), могут вызвать биокоррозию металла [10, 14]. Интенсивность микробной коррозии в сильной

степени зависит от того, какая именно группа микроорганизмов получила преимущественное развитие. Это в свою очередь определяется составом вод, поступающих в систему водоснабжения.

Особенно велика в процессе микробной коррозии роль тионовых и гетеротрофных бактерий [15]. Тионовые бактерии в процессе своей жизнедеятельности окисляют содержащиеся в воде соединения серы, в результате образуется серная кислота. Эта группа микроорганизмов интенсивно развивается в системах водоснабжения, как правило, только в том случае, когда поступающие в нее воды содержат значительное количество сероводорода. Обычно такое наблюдается в водоемах, загрязненных бытовыми и канализационными стоками. Гетеротрофные бактерии получают энергию, разлагая органические вещества. При этом образуется ряд химически агрессивных веществ — органические кислоты, аммиак, сероводород, перекиси и др. Интенсивное развитие гетеротрофных бактерий в микроперифитоне систем водоснабжения возможно только при поступлении в них вод, загрязненных органическими веществами (например, бытовыми стоками).

1.2. *Аллохтонные биопомехи*, то есть затруднения, возникающие при попадании в системы водоснабжения организмов, не способных обитать внутри них.

1.2.1. Забивание решеток и фильтров на водозаборе плавающими и плохо прикрепленными растениями (макрофитами). В водоемах средней полосы к таким формам относятся, прежде всего, роголистник, элодея и нитчатые зеленые водоросли, образующие скопления тины. Массовое развитие всех этих видов обусловливается эвтрофированием вод. Существенные биопомехи данного вида наблюдались нами на Курской АЭС в 1999 — 2003 гг. [16 — 17]. Как показали проведенные исследования, основной причиной этого явилось поступление в водоем-охладитель АЭС большого количества стоков с территории г. Курчатова.

В субтропической зоне очень серьезные трудности в эксплуатации систем водоснабжения создает водный гиацинт — крупное растение, плавающее на поверхности воды. В последнее время возникла реальная угроза появления этого вида в техногенных водоемах России, температурный режим которых, вследствие теплового загрязнения вод, отличается от естественного. Вероятность событий биологического загрязнения в данном случае весьма высока, поскольку водный гиацинт используется как декоративное аквариумное растение. Кроме того, этот вид пред-

лагается использовать в системах биологической очистки вод. Например, в настоящее время водный гиацинт культивируется на Люблинской станции аэрации в г. Москве. Высказывались также весьма непродуманные предложения о культивировании водного гиацинта в энергобиологических комплексах на водоемах-охладителях АЭС. Таким образом, тепловое и биологическое загрязнение водоемов России в совокупности могут обусловить и возникновение этого вида биопомех.

1.2.2. Попадание в системы водоснабжения водных животных. В некоторых случаях это может привести к забиванию водоводов и выходу из строя некоторых технических узлов. Данный вид биопомех также бывает обусловлен ухудшением экологических условий в водоемах-источниках водоснабжения. Наиболее распространенным примером является массовое заражение рыб гельминтами в водохранилищах и частичная потеря ими двигательной активности. В результате эти рыбы не способны противостоять току воды и скапливаются у решеток водозаборных устройств.

Аналогичные явления могут наблюдаться и в тех случаях, когда на водозаборе скапливаются рыбы, травмированные при прохождении через гидроузлы, расположенные выше по течению реки или в иной части водоема. К потери двигательной активности приводит и загрязнение вод токсичными промстоками.

*2. Биопомехи, обусловленные изменением качества вод, поступающих в систему водоснабжения, и экологического состояния водоема-источника водоснабжения.* Отличительной чертой биопомех этой группы является то, что сами организмы не контактируют с техническими узлами. Поэтому определение их истинных причин представляет собой более сложную задачу. Однако проведение грамотных экологических исследований позволяет успешно решать и данные проблемы.

2.1. *Забивка водозаборных решеток трупами животных при их массовой гибели в водоеме.* Подобные явления, также в подавляющем большинстве случаев, связаны с различными формами антропогенного воздействия на водные объекты. Наиболее важное значение среди них имеют залповые сбросы в водоемы высокотоксичных стоков и образование заморов в результате сброса канализационных стоков. Массовое появление на водозаборе трупов животных часто наблюдается также в периоды «цветения» водоемов сине-зелеными водорослями. В процессе своей жизнедеятельности водоросли выделяют в воду токсичные вещества. При разложении

массы отмирающих водорослей резко ухудшается кислородный режим. В свою очередь «цветения» практически всегда являются следствием антропогенного эвтрофирования водоемов.

2.2. *Забивание водоводов и технических агрегатов так называемым «влекомым биологическим материалом»* (влекомыми наносами), то есть фрагментами тел организмов и отчасти живыми организмами, которые с током воды вовлекаются внутрь системы водоснабжения. Их общее количество может быть весьма велико, а состав разнообразен (кусочки раковин моллюсков, обрывки водной растительности и др.). Так, на Криворожской ГРЭС масса поступавших в систему влекомых биоматериалов превышала 270 кг/сут [1]. Так же как и в случае с другими видами биопомех, количество влекомых наносов, во многом, определяется экологическим состоянием водоема, из которого осуществляется забор воды. Так, увеличение в последние годы количества остатков растительного происхождения, поступающих в систему водоснабжения Курской АЭС, было обусловлено эвтрофированием водоема-охладителя [18]. Массовое отмирание водной растительности также может быть обусловлено и другими антропогенными воздействиями. Например, такие явления, по нашим наблюдениям, происходят при экстремальных повышениях температуры воды до 30°С в районах сброса систем охлаждения некоторых энергетических объектов. Гибель растений может быть связана и с попаданием в водоемы токсичных стоков с других производственных объектов, а также значительным увеличением мутности воды. Отмирание высшей водной растительности происходит и в периоды «цветения» водоемов сине-зелеными водорослями, что практически всегда является следствием их эвтрофирования.

2.3. *Биологическая инициация процесса накипеобразования (образования неорганических отложений)*. Образование накипи весьма распространенный и общеизвестный вид помех, приводящий к снижению расхода воды, иногда даже закупорке водоводов и снижению теплопередачи.

Данный процесс, как правило, связывают исключительно с гидрохимическими параметрами воды (содержанием ионов кальция и др.). Однако биологические факторы, то есть влияние жизнедеятельности различных организмов, часто имеют не меньшее значение. Поэтому во многих случаях образование накипи можно рассматривать именно как вид биопомех.

На интенсивность накипеобразования существенное влияние

может оказать смещение карбонатно-кальциевого равновесия, обусловленное биотическими процессами. Так, интенсивные процессы фотосинтеза сопровождаются подщелачиванием среды и пересыщением воды карбонатом кальция, в результате чего резко увеличивается накипеобразование. В свою очередь интенсивность фотосинтеза в водоеме, из которого осуществляется забор воды, возрастает в результате его эвтрофирования.

2.4. *Коррозия, вызванная разложением в водоеме остатков организмов.* При интенсивном разложении в водоеме большого количества водной растительности образуется ряд химически агрессивных веществ (сероводород и др.), вызывающих коррозию оmyваемого водой оборудования. Как правило, подобные явления наблюдаются как последствия так называемого «вторичного загрязнения» водоемов. Данный вид загрязнения состоит в том, что его продукты не привносятся в водоем извне, а возникают в результате процессов, происходящих непосредственно в водной среде. Наиболее распространенный случай вторичного загрязнения можно представить в виде следующей цепочки событий: во-первых, поступление в водоем со стоками дополнительного количества фосфора, то есть химическое эвтрофирование, вызывает интенсивное развитие водных растений; затем происходит разложение образовавшейся растительной массы, в результате которого и происходит вторичное загрязнение водной среды. Таким образом, несмотря на то что ухудшение качества вод происходит в результате на первый взгляд «естественных» процессов разложения, его первопричина — это поступление в водоем стоков, богатых фосфором. Следовательно, и в данном случае конкретный виновник ухудшения экологической ситуации также может быть установлен.

Попадание в систему водоснабжения химически агрессивных веществ может наблюдаться и при разложении в водоеме значительной массы погибших животных.

3. *Биопомехи, возникающие в результате изменения проектных характеристик водоема-источника водоснабжения.* Производственный объект, система и источник его водоснабжения представляют собой единую природно-техногенную систему [19]. Поэтому, нежелательное изменение параметров водоема, обусловленное жизнедеятельностью организмов, может рассматриваться как разновидность биопомех даже в тех случаях, когда качество поступающих в систему водоснабжения вод не вызывает трудностей в эксплуатации технических узлов. Среди данной группы

важное значение имеют следующие явления:

3.1. *Зарастание водоема, препятствующее циркуляции вод.* Зарастание подводящих каналов крупными водными растениями (макрофитами) снижает их пропускную способность. В водоемах-охладителях формирование обширных прибрежных зарослей сокращает площадь растекания подогретых вод, в пределах которой на границе вода-воздух происходит охлаждение. Основной причиной интенсивного зарастания водоемов является их антропогенное эвтрофирование.

3.2. *Снижение интенсивности теплообмена на границе вода-воздух вследствие цветения воды планктонными микроводорослями (фитопланктоном).* Основная причина данного вида биопомех также заключается в эвтрофировании вод.

3.3. *Обмеление водоема в результате образования биогенных отложений.* Образование мощных биогенных отложений снижает пропускную способность подводящих каналов и создает условия для проникновения внутрь систем техводоснабжения влечомых наносов. Основная причина — массовое развитие двусторчатого моллюска дрейссены. В районах ее плотных поселений толщина скоплений ракуши может достигать несколько метров [1]. Распространение дрейссены связано главным образом с деятельностью человека. Следовательно, возникновение данного вида биопомех можно рассматривать как результат биологического загрязнения водоемов. Обмеление водоемов может происходить и при интенсивном развитии макрофитов в эвтрофируемых водоемах.

#### **Экологические процессы, вызывающие образование биопомех**

Анализируя выше изложенные материалы, можно сделать вывод, что образование биопомех в системах техводоснабжения происходит в двух случаях.

Во-первых, наиболее часто биопомехи возникают в результате резкого увеличения в водоеме количества некоторых организмов. Обычно это происходит в условиях ухудшения качества водной среды. В стабильных экосистемах такие явления, как правило, не наблюдаются. Этому препятствует сложная система регуляторных механизмов, удерживающих численность всех компонентов биотических сообществ на определенном уровне. Поэтому, массовому развитию нежелательных форм обычно предшествуют разрушение структурно-функциональной организации водной экосистемы и частичная потеря ею способности к саморе-

гулированию. Например, сильное загрязнение вод, вызывающее массовую гибель многих видов, в ряде случаев одновременно создает условия для бурного развития других организмов, ранее не выдерживавших конкуренции. Уничтожение зарослей высшей водной растительности гербицидами может обусловить последующее цветение водоемов сине-зелеными водорослями. Выкашивание зарослей тростника, затрудняющих проток воды, вызывает бурное развитие плохо прикрепленных форм растительности, создающей более серьезные биопомехи при попадании в водоводы.

Во-вторых, биопомехи возникают как следствие массовой гибели водных организмов или отмирания отдельных частей водной растительности, что также, как правило, наблюдается при значительном ухудшении экологических условий в водоеме, возникающих вследствие человеческой деятельности (сброс токсичных стоков, экстремальный подогрев вод и др.).

Остановимся только на двух наиболее важных процессах антропогенного воздействия на водоемы: загрязнении и эвтрофировании вод.

Под *загрязнением* водных объектов обычно понимают поступление в водную среду или накопление в ней веществ или иных агентов, способных оказать нежелательное воздействие на водные организмы и снижающих качество вод.

В аспекте рассматриваемой проблемы наибольший интерес представляет химическое, тепловое и биологическое загрязнение водоемов:

химическое загрязнение заключается в поступлении в водоемы токсичных веществ или образовании таких веществ в самих водоемах вследствие человеческой деятельности;

тепловое загрязнение — это искусственное повышение температуры водоемов, связанное со сбросом в них подогретых вод. Существует две группы различных эффектов, связанных с тепловым загрязнением: эффекты субэкстремального повышения температуры и эффекты экстремального повышения температуры. Субэкстремальное тепловое воздействие (повышение температуры до 30°C) приводит к интенсификации биопродукционных процессов в водоеме. Экстремальный подогрев вод (свыше 30°C) вызывает массовую гибель организмов, обитающих в водоеме;

биологическое загрязнение — это проникновение в водоемы и развитие в них в результате человеческой деятельности организмов, ранее там не встречавшихся.

Под *эвтрофированием* понимают увеличение содержания в во-

доемах азота, фосфора и других биогенных элементов, что обуславливает повышение интенсивности первичного продуцирования органического вещества, стимулирует рост водорослей и высших водных растений. Иными словами, эвтрофирование — это нежелательное «удобрение» водных объектов.

Как свидетельствуют рассмотренные выше механизмы образования различных биопомех, в их основе лежат процессы загрязнения и эвтрофирования вод (табл. 1). Но, ведь, у каждого вида загрязнения или эвтрофирования имеется свой «виновник», то есть юридическое или физическое лицо, которое согласно действующему законодательству несет ответственность за данные действия. Более того, это лицо обязано компенсировать ущерб, который понесли другие юридические и физические лица по причине ухудшения окружающей среды, вызванной его деятельностью. Именно на этом суждении и основывается предлагаемая система экологического менеджмента систем водоснабжения.

Очевидно, что, даже зная причину возникновения биопомехи, непосредственно потребовать компенсацию ущерба затруднительно. Эту проблему можно решить только в несколько этапов, на каждом из которых ставятся свои конкретные цели и достигается определенный результат (рис. 2).

Первый этап состоит в документировании факта наличия биопомехи и обоснования понесенного экономического ущерба. Затем проводится исследование механизма возникновения данного явления.

Цель второго этапа — установление связи между возникновением биопомехи и изменением в экологическом состоянии водоема, служащим источником водоснабжения. Данная цель реализуется путем организации экологического мониторинга. Его результатами должны являться:

1) документированная оценка экологического состояния водоема, основанная на анализе наблюдающихся тенденций в динамике основных показателей качества водной среды;

2) выявление источников ухудшения качества водной среды.

Однако само по себе установление виновников ухудшения экологической ситуации не дает права требовать с них компенсацию за понесенные убытки, связанные с образованием биопомех. Для этого необходимо установить факты нарушения виновными юридическими и физическими лицами действующего законодательства.

Поэтому, третий этап включает процедуру внешнего обязатель-

Таблица 1.

Основные виды биопомех, обусловленные ухудшением качества водной среды

Вид загрязнения	Фактор, обуславливающий возникновение биопомехи	Характер биопомех	
1	2	3	
Химическое загрязнение	Поступление в воду токсичных веществ	Забивка решеток, фильтров и водоводов мертвыми организмами Коррозия материалов, обусловленная процессами разложения погибших организмов в водоеме	
	Увеличение в воде содержания РОВ	Интенсивное образование биопленки Микробная коррозия	
	Увеличение количества взвеси	Интенсификация накипеобразования Увеличение биомассы макрооб- растателей	
Тепловое загрязнение	Субэкстремальное тепловое воздействие (до 30°C)	Интенсификация биопро- дукционных процес- сов (фотосинтеза)	Интенсификация накипеобразования Интенсивное образование биопленки Микробная коррозия
		Увеличение содержание РОВ в результате интен- сификации процессов разложения	Интенсивное образование биопленки Микробная коррозия
	Экстремальное тепло- вое воздействие (свы- ше 30°C)	Массовая гибель водных организмов	Забивка решеток, фильтров и во- додоводов Образование влекаемых наносов
		Увеличение РОВ в резуль- тате гибели организмов	Интенсивное образование био- пленки; микробная коррозия
Биологическое за- грязнение	Вселение дрейссе- ны	Увеличение количества взвеси в результате гибели организмов и их раз- ложения	Интенсификация накипеобразования
		Поселение моллюсков внутри системы водо- снабжения	Увеличение биомассы макрооб- растания
		Образование плотных поселений моллюсков в районе водозабора	Образование влекаемых наносов
		Образование биогенных отложений на дне водоема	Образование биогенных отложе- ний на дне водоема

Продолжение таблицы 1.

1	2	3
Эвтрофирование вод	Вспышки «цветения» сине-зеленых водорослей	Интенсификация накипеобразования
		Забивка решеток, фильтров и водоводов организмами, погибшими в результате цветения
		Коррозия материалов, обусловленная процессами разложения водорослевой массы (вторичное загрязнение)
		Снижение охлаждающей способности водоема
	Заращение водоемов макрофитами	Интенсификация накипеобразования
		Забивка решеток, фильтров и водоводов плавающими и слабо прикрепляющимися формами, а также отмирающими частями водных растений
		Снижение пропускной способности каналов, затруднение циркуляции вод
		Увеличение количества влекомых наносов
		Образование биогенных отложений на дне водоема
	Увеличение содержания в воде РОВ	Интенсивное образование биопленки
		Микробная коррозия
	Увеличение в воде содержания органической взвеси (сестона)	Увеличение биомассы макрообращения
Интенсификация накипеобразования		

ного экоаудита, заключающегося в проверке соответствия деятельности данных лиц нормам экологического законодательства. Обязательный экоаудит проводится по решению контролирующих органов исполнительной власти. Основанием для этого решения служат результаты экологического мониторинга, полученные при проведении второго этапа.

Последним, четвертым этапом является оформление требований о компенсации ущерба, понесенного вследствие образования биопомех. Эта документация должна включать:

документы, свидетельствующие о нарушении экологического законодательства лицом, виновным в ухудшении экологического состояния водного объекта;

документы, обосновывающие ущерб, нанесенный водному

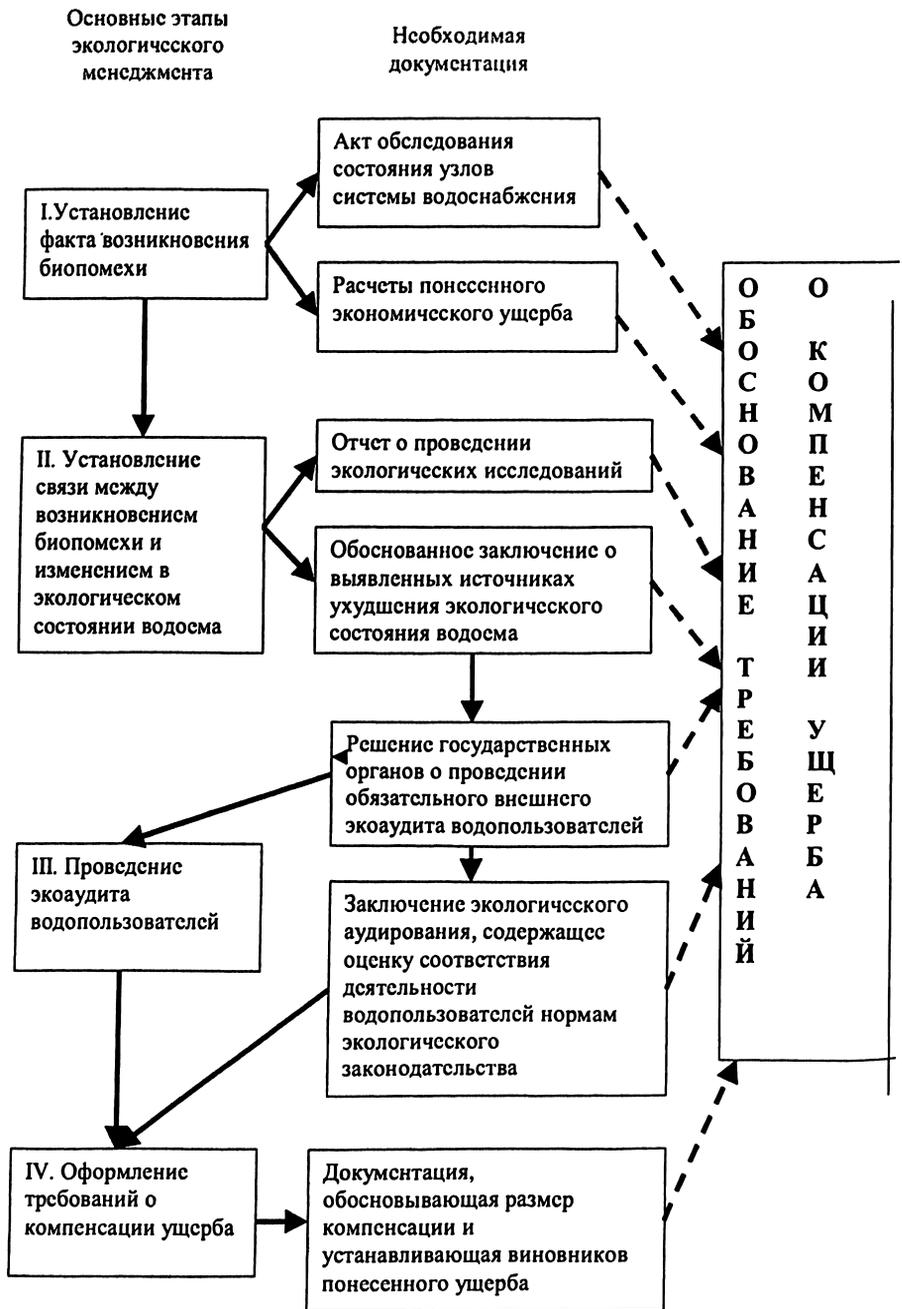


Рис. 2. Основные этапы экологического менеджмента по проблемам, связанным с возникновением биопомех

объекту;

документы, обосновывающие размер убытков, понесенных предприятием, в системе техводоснабжения которого возникли серьезные биопомехи;

документы, устанавливающие связь между возникновением биопомех и ухудшением экологического состояния водоема.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Афанасьев С.А.** Биологические помехи в водоснабжении электростанций. //Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. Киев: Наукова думка. 1991.
2. **Безнос В.Н., Суздалева А.Л., Попов А.В., Горюнова С.В.** Взаимосвязь и взаимообусловленность биологических, экологических и техногенных чрезвычайных ситуаций //Природоохранное обустройство территорий. Сборник мат. научно-техн. конф. М.: Московский гос. университет природообустройства. 2002.
3. **Горюнова С.В., Попов А.В., Суздалева А.Л., Безнос В.Н.** Чрезвычайные экологические и биологические ситуации в техногенных водных экосистемах //Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Сельскохозяйственные науки». 2002. №8.
4. **Попов А.В., Суздалева А.Л., Горюнова С.В., Безнос В.Н.** Экологические механизмы возникновения биологических помех в системах технического водоснабжения АЭС и ТЭС //Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2001. №5.
5. **Суздалева А.Л., Горюнова С.В., Безнос В.Н.** Основные этапы процедуры экологического аудита //Вестник Российского ун-та дружбы народов. Сер. Сельскохозяйственные науки. 2002. №8.
6. **Федеральный закон «Об охране окружающей среды».** М.: Ось-89. 2002.
7. **Михеев Н.Н., Шпагина А.Н., Ряполова С.Е.** Водный кодекс Российской Федерации. Постатейный научно-практический комментарий. //Серия «Кодексы Российской Федерации» - Приложение к Российской газете» VII. М.: Агенство «Библиотечка «Российской газеты». 2001.
8. **Charman V., Brown J.M.A., Hill C.F., Carr J.L.** Biology of excessive weed growth in hydro-electric lakes of the Waikato River New Zealand //Hydrobiologia. 1974. V. 44. N4.
9. **Раилкин А.И.** Процессы колонизации и защита от биообрастания. С-Пб.: Изд-во С-Пб. Ун-та. 1998.
10. **Голубовская Э.К.** Биологические основы очистки воды. М.: Высшая школа, 1978.
11. **Афанасьев С.А.** Биологические помехи в системе водоснабжения тепловых и атомных электростанций. //Гидробиол. журн. 1995. Т.31. №2.
12. **Кошелева С.И.** Формирование гидрохимического режима. //Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. Киев: Наукова думка. 1991.
13. **Лудянский М.Л., Выскребец А.М.** Методы борьбы с биологическими

- обращениями в системе водоснабжения металлургического предприятия. // Пром. энергетика. 1981. №11.
14. Емец Г.П., Лубянов И.П. Водная микрофлора как фактор коррозии стали // Гидробиология каналов СССР и биологические помехи при их эксплуатации. Киев: Наукова думка. 1976.
15. Андреюк Е.И., Билай В.И., Коваль Э.З., Козлова И.А. Микробная коррозия и ее возбудители. Киев: Наукова думка. 1980.
16. Безносков В.Н., Горюнова С.В., Кацман Е.А., Кучкина М.А., Суздалева А.Л. Особенности эвтрофирования водоема-охладителя АЭС // «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Сборник научн. трудов РУДН М: Изд. РУДН: 2004.
17. Кучкина М.А., Кацман Е.А. Исследование процесса эвтрофикации водоема-охладителя Курской АЭС // Водные экосистемы и организмы-5. Мат. научной конф. М.: МГУ. 2004.
18. Кучкина М.А. Особенности процессов эвтрофирования в водоемах-охладителях АЭС. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: РУДН. 2004.
19. Суздалева А.Л. Структура и экологическое состояние природно-техногенных систем водоемов-охладителей АЭС // Автореферат диссертации ... доктора биол. наук. М.: МГУ. 2002.

## ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И РЕАЛЬНЫЕ ПУТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБУСТРОЙСТВА МАЛЫХ РЕК

*Безносков В.Н., доктор биол. наук, Родионов Б.В., кандидат технических наук (ОАО «НИИЭС»), Суздалева А.А., научный сотрудник (ООО «Альфамед 2000»)*

Под экологическим обустройством малых рек понимается организация комплекса мероприятий, конечной целью которых является приведение данных водотоков в состояние, пригодное для их использования в хозяйственно-бытовых и рекреационных целях. В настоящее время данная проблема весьма актуальна [1]. С одной стороны, количество малых водотоков огромно. В Российской Федерации их насчитывается свыше 2,5 миллионов. Малые реки являются важной составляющей среды обитания значительной части населения, от их состояния во многом зависит степень социальной привлекательности той или иной территории. С другой стороны, малые реки — это элемент окружающей среды, на котором современный уровень техногенного воздействия сказался наиболее сильно. Вода представляет собой универсальный растворитель,

поэтому все загрязнители аккумулируются, прежде всего, в водоемах. Отличительной чертой ситуации, складывающейся на малых реках, начиная с конца XIX в., является полное отсутствие контроля за их чистотой. Более того, многие малые реки были на законном основании превращены в промышленные стоки, элементы городской ливневой канализации. Некоторые водотоки полностью или частично были уничтожены.

В настоящее время решить экологические проблемы малых рек одними только природоохранными мерами невозможно. Необходимо разработка и осуществление специальных инженерных мероприятий. Очевидно, что успех данной деятельности возможен только в том случае, если усилия экологов и инженеров объединены в единой программе экологического обустройства. К сожалению, в большинстве случаев, несмотря на многочисленные декларативные заявления, эти работы проводятся практически независимо друг друга. Проекты, предлагаемые специалистами-экологами, почти всегда основываются на мерах ограничения или недопущения негативного воздействия на водоток. Чаще всего предлагается контролировать бытовые и промышленные стоки. Важность данного аспекта несомненна, но эффект от природоохранных программ, основанных исключительно на экологическом контроле, как правило, незначителен. Обеспечить предотвращение загрязнения водотока со стороны прилегающей к нему густонаселенной территории практически невозможно. Не реально также во многих случаях самовосстановление облика реки, сильно измененной вследствие роста населения, изменения характера его основных занятий, урбанизации прилегающей территории и индустриализации региона. Эту проблему можно решить техническим путем. Однако проекты, создаваемые только инженерно-техническими специалистами, также малоэффективны. Недоучет и непонимание экологических факторов приводит к возведению сооружений, функционирование которых не приводит к улучшению экологической ситуации, а само их наличие снижает эстетику ландшафта.

Основной причиной разобщения экологической и инженерной деятельности в деле экологического обустройства малых рек является отсутствие единого взгляда на решение стоящих проблем. Выработка комплексного эффективного пути возможна на основе некоторого компромисса между общими целями природоохранной деятельности и реальными возможностями улучше-

ния окружающей среды путем осуществления специальных инженерных проектов. Для этого необходимо решить ряд концептуальных проблем, которые можно сформулировать в виде следующих положений.

**Положение 1.** Можно сформулировать в виде вопроса: в каком виде мы хотим воссоздать ту или иную малую реку? Вопрос этот крайне важен, поскольку определяет направление практической работы в целом. Но обоснованно ответить во многих случаях на него достаточно сложно. В идеальном случае реку следовало бы восстановить в первоизданном виде. Но здесь возникает другая проблема: что, собственно под этим понимать. Природные реки не есть что-то навсегда застывшее в определенном состоянии. Их характеристики и облик постоянно меняются в ходе естественных многовековых климатических изменений, гидрологических и геоморфологических процессов. Кроме того, состояние реки во многом определяется состоянием ее водосборного бассейна. Поэтому, например, если ставится задача вернуть реке облик, который существовал в XII-XIII вв., то такая задача нереальна хотя бы потому, что климат и ландшафтные особенности местности в то время были иными.

Как показывает анализ опыта различных стран, наиболее удовлетворительные результаты дает восстановление водотоков на уровне периода, предшествующего индустриальному освоению данного региона. Такие программы включают не только мероприятия, направленные на улучшение качества вод реки, но также на реконструкцию на ней гидротехнических сооружений, традиционных для этого периода. Например, во многих европейских странах восстанавливаются водяные мельницы и мельничные пруды.

Следовательно, обязательным элементом обоснования программ экологического обустройства малых рек является анализ их инженерного обустройства, придававшего им определенный облик в те или иные исторические эпохи. Иными словами, необходимо отследить, как изменялся облик реки за длительный период времени и выявить основные причины этих изменений. Поэтому такая деятельность также может рассматриваться как мониторинг. Ее целесообразно выделить в самостоятельный раздел инженерно-экологического мониторинга и определить как *историко-аналитический мониторинг*.

**Положение 2.** Как реально осуществить восстановление или воссоздание малой реки? Существуют различные подходы для практического решения этих проблем, основанные на учете особенностей

конкретных водных объектов. В некоторых случаях желаемого эффекта можно добиться относительно простыми средствами. Например, экологическое состояние водотоков, подверженных умеренному бытовому загрязнению, можно значительно улучшить путем искусственного аэрирования застойных участков и расчистки русла.

Однако в большинстве случаев этого недостаточно. На современном этапе принципиальное изменение водосборных бассейнов многих малых рек (сведение лесов, осушение болот, урбанизация территории и др.) привело к практически необратимому снижению их расходов. По этой причине, один из распространенных путей экологического обустройства заключается в увеличении водности малых рек за счет устройства каскадов подпорных сооружений. Это традиционный для различных временных периодов путь, связанный в прошлые века со строительством мельничных плотин и прудов. В наше время более привлекательным является создание каскадов малых ГЭС. Важнейшим аспектом строительства таких сооружений и повышения их экономической эффективности является комплексный подход к решению задач по организации одновременно рекреационных зон отдыха людей и туризма, рыбоводства, производства электроэнергии и т.д. Наглядным примером практического осуществления этих идей является строительство Хоробровской ГЭС на реке Нерль в Переславль Залесском районе Ярославской области, осуществленное по проекту ОАО «НИИЭС».

Существуют и иные инженерные решения, способствующие улучшению экологического состояния водотоков (отвод загрязненных притоков в канализационную сеть, строительство локальных очистных сооружений и многое другое). Но, несмотря на все многообразие существующих способов технического решения проблем, их реализация на практике во многих случаях не только не дает положительного эффекта, а, напротив, значительно ухудшает экологическое состояние водотока. Так, подпруживание водотоков хотя и сопровождается желаемым увеличением водности, но на территориях с высокой плотностью населения приводит к образованию своеобразных коллекторов-накопителей промышленно-бытовых стоков и мусора. Для того чтобы инженерно-технические мероприятия были эффективными, они должны иметь достаточное экологическое обоснование. Осуществить это можно только путем комплексного анализа данных экологического мониторинга водотока и разрабатываемых проектов его экологического обустройства. В схеме инженерно-экологического мониторинга

данный этап обозначен как *проектно-аналитический мониторинг*. Его главная задача заключается в обоснованном прогнозе возможных экологических последствий реализации того или иного проекта, выборе оптимального варианта и его корректировании на основе материалов экологического мониторинга.

Практика показывает, что далеко не всегда целесообразно восстанавливать весь водоток. В ряде случаев анализ экологических материалов свидетельствует о том, что такая задача в современных условиях нереальна, и все попытки инженерного обустройства такого водотока в конечном счете сведутся к бессмысленному «украшению» сточной канавы. Например, отдельные участки малых рек, протекающих по урбанизированным территориям, вообще полностью утрачены. Так, некоторые реки г. Москвы в настоящее время существуют в виде отдельных фрагментов. Остальные участки русла заключены в трубы и представляют собой часть ливневой городской канализации. Водосборный бассейн этих малых рек, как правило, сильно трансформирован, а поступающие с него воды по своим показателям могут рассматриваться как сточные. Восстановление этих рек как целостных водотоков нереально. Возникает вопрос: нужно ли что-либо предпринимать в подобных случаях и что реально можно сделать? Как показывает наш опыт работы на некоторых реках г. Москвы, эти проблемы также подлежат практическому решению. Сохранившиеся участки городских малых рек, расположенные в пределах парковых территорий, можно превратить в водоемы рекреационного назначения. Для этого необходимо проведение следующих инженерно-технических, гидромелиоративных и экологических мероприятий:

изоляция реконструируемых водоемов от городских стоков, поступающих с их водосборного бассейна. Это реализуется в форме полного разобщения сохранившихся открытых участков, расположенных на территориях парковых зон, от других частей водотока и отвод загрязненных вод в систему городской ливневой канализации;

заполнение образовавшегося изолированного фрагмента русла (после его предварительной расчистки) чистой водой и создание циркуляционной системы, в которой вода движется по замкнутому контуру; в закрытую часть контура встраиваются узлы по очистке и кондиционированию водной среды;

экологический дизайн нового водоема и формирование биотического комплекса (создание зарослей прибрежной растительности на открытых участках контура, зарыбление, организация водопадов-аэраторов и др.). Возможно частичное восстановление не-

которых природно-ландшафтных особенностей этого участка и, кроме того, использование его как объекта городского любительского рыболовства.

Несомненно, что водоем, возникающий в результате реализации этой программы, не является восстановленным водотоком, а представляет собой воссозданный природно-техногенный водный объект, существование которого поддерживается благодаря постоянной или периодической работе циркуляционно-восстановительной системы. В связи с этим для обозначения подобных проектов нами предложен специальный термин — «имитационные водоемы». Их примером может служить создание по проекту ОАО «НИИЭС» мельничного пруда в устье р. Жужа на территории Государственного музея-заповедника «Коломенское».

Положение 3. Одной из важнейших современных задач России является развитие малого и среднего бизнеса. Достаточно часто эти вопросы непосредственно связаны с экологическими проблемами малых рек. Успешность многих видов деятельности, особенно в сферах туризма, жилищного строительства, рыболовства, в значительной мере определяются экологическим состоянием расположенных на данной территории небольших водных объектов.

Очевидно, что полноценные программы реконструкции малых рек должны учитывать и эти вопросы. То есть при планировании инженерных мероприятий необходимо провести оценку возможностей использования восстановленных водотоков для соответствующих видов предпринимательской деятельности. Возможно также привлечение водопользователей в программы по экологическому мониторингу и контролю за эксплуатацией гидротехнических и гидромелиоративных сооружений на основе их личной заинтересованности в качестве воды. Вместе с тем, необходимо оценивать и возможные неблагоприятные последствия, которые неминуемо возникнут при хозяйственном использовании восстановленных водотоков, заранее решить ряд связанных с этим правовых проблем. Например, известны случаи, когда у водных объектов, ранее не представлявших интереса ни для одной из организаций, после их восстановления появлялся «хозяин», обладающий преимущественными правами на пользование ими.

Таким образом, необходимой составляющей инженерно-экологического мониторинга должно являться отслеживание экономических интересов различных хозяйствующих субъектов, которые прямо или косвенно могут быть затронуты в процессе реали-

зации проекта по экологическому обустройству водотока. Этот этап можно обозначить как *социально-экономический, инженерно-экологический мониторинг*.

**Положение 4.** Известно, что многие программы экологического обустройства не дали ощутимых практических результатов по причине отсутствия надлежащего контроля за эксплуатацией созданных гидротехнических и гидромелиоративных систем, предназначенных поддерживать экологическое состояние водотока на определенном уровне. Поэтому еще одним концептуальным вопросом является организация мониторинга на уже функционирующих объектах экологического обустройства. Как показывает опыт практической работы, системы мониторинга и контроля за состоянием восстановленных водотоков должны создаваться не после возведения данных объектов, а одновременно и в комплексе с разработкой проектной документации инженерных мероприятий. При этом должна отслеживаться не только сохранность гидротехнических сооружений. Необходимо также контролировать эффективность их функционирования. Под этим в первую очередь подразумевается сохранение роли данных сооружений в обеспечении надлежащего экологического состояния малой реки. Этот этап инженерно-экологического мониторинга можно назвать *постпроектный текущий инженерно-экологический мониторинг*. Представляется, что наиболее действенной формой его осуществления могло стать абонентное обслуживание данных объектов организациями, их проектировавшими, штат которых укомплектован как грамотными инженерно-техническими кадрами, так и специалистами-экологами.

Теперь рассмотрим конкретное содержание каждой из перечисленных выше составляющих инженерно-экологического мониторинга (см. рисунок) как основы программ экологического обустройства малых рек.

**Инженерно-исторический мониторинг.** На самом предварительном этапе необходимо решить, облик реки какого исторического отрезка времени может рассматриваться как прототип для ее восстановления (рисунок). При этом, говоря о прототипе, мы конечно имеем в виду не стремление создать полностью идентичную копию реки какой-то из прошедших эпох. Это нереально. В данном случае мы только определяем общее направление, в котором будут проводиться дальнейшие изыскания. Например, если мы приходим к выводу, что прототипом может служить облик водотока

или его участка, существовавший во второй половине XIX века, то в этом случае дальнейший анализ будет в основном касаться деталей обустройства реки именно в этот период. Но при этом рассматривается не вопрос о восстановлении их как таковых, а оценивается общая возможность использования аналогичных технических решений в настоящее время для улучшения экологического состояния водотока.

На следующем этапе необходимо осуществить исследования общего состояния реки в выбранный исторический период, ее технического обустройства. В данный пункт программы входит как анализ чисто экологических материалов того периода (например, характера прибрежной зоны), так и поиск проектов гидротехнических сооружений, традиционных для этого исторического периода.

Однако изучения только исторических материалов для выбора деталей будущего проекта экологического обустройства недостаточно. Необходимо оценить целесообразность и возможность их осуществления в современных экологических и социально-бытовых условиях. Например, в большинстве случаев является невозможным полное восстановление ихтиофауны рек и зарослей прибрежной растительности.

Заключительным этапом историко-аналитического мониторинга является детализация облика водотока, служащая основой для последующего проектирования.

*Проектно-аналитический мониторинг.* Его проведение осуществляется на всех стадиях выполнения проекта и в период его реализации (строительства объектов системы экологического обустройства). Проектно-аналитический мониторинг преследует следующие основные цели:

оперативное отслеживание соответствия осуществляемой деятельности проектным требованиям по экологическому обустройству реки;

корректировка проекта, основанная на оценке ожидаемых и наблюдаемых в ходе его реализации изменений в окружающей среде;

обоснование долгосрочного прогноза развития экологической ситуации в водотоке и на прилегающей к нему территории после осуществления проекта его экологического обустройства.

Начинать проектно-аналитический мониторинг желательно с так называемого «нулевого цикла». В экологической литературе под этим понятием подразумевают проведение мониторинга на каком-либо участке окружающей среды, где планируется осуществление того или иного проекта, до начала его реализации. В боль-

**Историко-аналитический мониторинг:**

- выбор исторического прототипа облика реки;
- исследование экологических материалов, характеризующих состояние водотока в выбранный исторический период;
- поиск и изучение проектов гидротехнических сооружений, традиционных для данного периода;
- оценка реальной возможности восстановления отдельных деталей облика реки в современных условиях;
- детализация проектируемого облика восстанавливаемой реки.

**Проектно-аналитический мониторинг:**

- проведение «нулевого цикла» экологического мониторинга водотока;
- поиск и анализ материалов, характеризующих современное состояние водотока;
- оценка возможных изменений в водной среде и на прилегающей к водотоку территории вследствие реализации проекта;
- корректировка деталей проекта экологического обустройства водотока на основе результатов экологического мониторинга, полученных в ходе его реализации;
- выработка долгосрочного прогноза развития экологической ситуации после реализации проекта.

**Социально-экономический мониторинг:**

- установление состава водопользователей малой реки;
- определение эколого-экономических интересов отдельных водопользователей;
- предварительное исследование общественного мнения о проекте экологического обустройства и организация общественных обсуждений данного проекта;
- отслеживание изменений общественного мнения;
- оценка потенциальных и реальных эколого-экономических ущербов, возникающих в ходе работ по реализации проекта.

**Постпроектный текущий инженерно-экологический мониторинг:**

- обоснование показателей эффективности работы системы экологического обустройства и допустимых диапазонов их колебаний;
- разработка инструктивно-методических материалов, регламентирующих сроки и порядок проведения постпроектного мониторинга;
- согласование инструктивно-методических материалов с государственными природоохранными и водохозяйственными органами;
- заключение договора с органами исполнительной власти об абонентном обслуживании системы экологического обустройства малой реки.

И  
Н  
Ж  
Е  
Р  
Н  
О  
І  
Э  
К  
О  
Л  
О  
Г  
И  
Ч  
Е  
С  
К  
И  
Й  
М  
О  
Н  
И  
Т  
О  
Р  
И  
Н  
Г

Общая схема инженерно-экологического мониторинга

шинстве случаев время, отпущенное на проведение «нулевого цикла» мониторинга, невелико, и мониторинг дополняется поиском и анализом всех доступных материалов, которые характеризуют экологическое состояние водотока на современном этапе. Наиболее важными задачами на данном этапе являются:

1. Оценка экологического состояния водотока. В частности, необходимым является определение степени токсичности вод методами биотестирования и биоиндикации. Эти материалы могут существенно изменить некоторые решения, предложенные на начальной стадии разработки проекта. На фазе «нулевого цикла» экологического мониторинга иногда выясняется, что предлагаемые инженерно-технические мероприятия не могут дать желаемого результата. Например, если токсичность вод постоянно или периодически достигает предельного уровня, превращение расчищенной и обустроенной прибрежной территории в рекреационную зону невозможно. В других случаях данные экологического мониторинга указывают на неприменимость ранее планировавшихся мероприятий по экологическому дизайну реки. Например, сильная загрязненность вод или отсутствие подходящих подводных грунтов может стать препятствием для создания декоративных зарослей водной растительности. В подобных случаях либо необходимо осуществление дополнительных мер по детоксикации и очистки вод и подводных грунтов, либо принципиальный пересмотр проекта, например принятие решения об отводе вод малой реки в систему городской канализации и создании имитационного водоема на отдельном участке русла.

2. Установление источников загрязнения реки и иных видов ухудшения ее экологического состояния (засорение, разрушение берегов и др.). На основании этих данных принимаются решения об отведении поступающих в водоток промышленно-бытовых стоков и о проектировании локальных очистных сооружений. Кроме того, результаты этих исследований используются для последующей организации социально-экономического мониторинга в той его части, где обосновываются требования к водопользователям, по вине которых происходит ухудшения качества вод и состояния прибрежной территории.

3. Исследование животного и растительного мира водотока. Эти данные в ряде случаев позволяют разработать новые решения по экологическому дизайну водотока, значительно уточнить возможность дальнейшего использования его рыбохозяйственного и рекреационного потенциалов.

4. Важной задачей экологического мониторинга нулевого цикла, помимо прочего, является сбор и подготовка материалов для проведения экологической экспертизы проекта (ОВОС).

Следующий этап проектно-аналитического мониторинга проводится уже на стадии осуществления инженерно-технических мероприятий. Его основная задача заключается в оценке возможных изменений в водной среде и на прилегающей к водотоку территории вследствие реализации проекта. Основные направления экологического мониторинга на этой фазе следующие:

определение изменений в гидрохимическом режиме водотока, происходящих вследствие реализации проекта;

оценка наблюдающихся изменений в гидробиологическом режиме водотока (качественного и количественного состава различных групп водной биоты, характера пространственного распределения водных биоценозов и др.);

определение изменений в морфометрии малой реки, исследование процессов берегообрушения, образования наносов, размыва и переотложения донных отложений;

исследование влияния работ по реализации проекта на экологическое состояние прибрежных территорий (изменение уровня грунтовых вод, возможность затопления, изменения состава биоценозов на прибрежных участках).

На основании полученных данных возможна корректировка некоторых деталей проекта экологического обустройства водотока с целью снижения негативных экологических последствий.

Проектно-аналитический этап инженерно-экологического мониторинга заканчивается выработкой обоснованного долгосрочного прогноза развития экологической ситуации после реализации проекта.

*Социально-экономический мониторинг.* Данное направление заключается в отслеживании социально-экономических интересов различных физических и юридических лиц, а также общественных объединений и организаций, так или иначе связанных с осуществлением проекта по восстановлению и экологическому обустройству малой реки. Проведение социально-экологического мониторинга начинается на стадии разработки проекта и продолжается на протяжении всего периода его реализации.

Необходимость включения этого раздела в структуру инженерно-экологического мониторинга обуславливается несколькими причинами. Во-первых, обязательным моментом процедуры государственной экологической экспертизы является орга-

низация общественных обсуждений проекта [2]. Как показывает опыт практической работы, успех подобных мероприятий во многом зависит от предварительного изучения общественного мнения, а также от контактов с представителями общественных экологических организаций, в ходе которых происходит обмен мнениями и разъяснение позиций сторон. Во-вторых, исследование заинтересованности лиц и организаций в экологическом обустройстве водотока может расширить круг источников финансирования данного проекта. В третьих, учет интересов различных водопользователей и населения на стадии разработки проекта может существенно повысить положительный эффект от его реализации. Наконец, в четвертых, проведение социально-экологического мониторинга необходимо для эффективной борьбы с организациями и отдельными лицами, деятельность которых вызывает ухудшение экологического состояния реки и ее прибрежной территории. Реальное решение экологических проблем обычно происходит только тогда, когда они перемещаются из сферы эмоциональных обсуждений в область правовых взаимоотношений. Только на основании установления фактов нарушения законодательства можно требовать приостановления или прекращения экологически опасных видов деятельности. Непременным условием этого являются установление объектов и субъектов данных правовых отношений и оценка возможных эколого-экономических ущербов [3], что также выполняется в ходе проведения социально-экономического этапа инженерно-экологического мониторинга. На стадии, предшествующей началу осуществления инженерно-технических мероприятий, социально-экономический мониторинг включает следующие основные направления:

1. Установление всех водопользователей малой реки. При этом, в соответствии с Водным кодексом РФ, к числу водопользователей относятся не только физические и юридические лица, осуществляющие забор воды, но и все хозяйствующие субъекты, сбрасывающие в данный водоем свои стоки, а также собственники, владельцы и пользователи земельных участков, примыкающих к данному водному объекту [4].

2. Определение эколого-экономических интересов отдельных водопользователей в отношении проекта экологического обустройства реки. Важным моментом является выяснение того, кто и каким образом в дальнейшем будет использовать результаты реализации проекта. Своевременное получение таких данных, с одной стороны, дает возможность внести в проект соответствующие коррективы, позво-

ляющие повысить эффективность его конечных результатов, с другой стороны, обладая подобной информацией, можно предварительно предпринять соответствующие шаги по предотвращению возможных правовых коллизий на заключительных стадиях работы.

3. Установление контактов с общественными организациями и объединениями, проявляющими интерес к проекту экологического обустройства малой реки.

4. Исследование общественного мнения о проекте экологического обустройства и организация общественных обсуждений данного проекта. Выполнение этого пункта позволяет снять многие противоречия и в дальнейшем может облегчить прохождение государственной экологической экспертизы. На основании высказанных в ходе общественных обсуждений пожеланий и замечаний в проект также могут быть внесены коррективы.

На стадии реализации проекта в ходе социально-экономического мониторинга также осуществляется:

отслеживание общественного мнения путем организации встреч с населением и представителями общественных организаций, дача необходимых разъяснений об этапах выполнения и конечных результатах проекта;

оценка потенциальных и реальных эколого-экономических ущербов, возникающих в ходе работ по реализации проекта у водопользователей; активная работа в данном направлении позволяет разрешить возможные конфликтные ситуации и аргументированно ответить на необоснованные претензии.

*Постпроектный текущий инженерно-экологический мониторинг.* Его конечная цель заключается в обеспечении эффективного функционирования системы экологического обустройства. Следует особо отметить, что почти во всех случаях восстановление водотока отнюдь не означает создания существовавшей когда-то саморегулирующейся водной экосистемы. В современных условиях это практически невозможно. При реализации проекта экологического обустройства обычно возникает не естественная, а природно-техногенная или даже полностью техногенная система, то есть система, существование которой частично или полностью поддерживается благодаря функционированию инженерно-технических сооружений. Иными словами, достигается в основном внешнее сходство облика реки с ранее существовавшим в прошедшую историческую эпоху. Однако такой восстановленный водоток не обладает экосистемой, в полной мере имеющей первоначальные естественные механизмы самоочищения и самовос-

становления. В лучшем случае удается создать лишь условия для существования каких-то отдельных компонентов среды, например некоторых видов рыб или водоплавающих птиц. По этой причине природно-техногенные и техногенные системы восстановленных водотоков нуждаются в постоянной поддержке. Как свидетельствует весьма обширный негативный опыт, без создания специальной службы, обеспечивающей контроль за состоянием объектов экологического обустройства, они рано или поздно выходят из строя, и состояние водотока вновь ухудшается. Таким образом, без организации постпроектного инженерно-экологического мониторинга деятельность по восстановлению малых рек просто утрачивает свой смысл.

Разработка программы постпроектного мониторинга должна начинаться уже на стадии создания проекта экологического обустройства. В соответствии с этим финансирование этой разработки должно проводиться одновременно с финансированием проекта и входить в общую смету затрат. Привлечение к разработке постпроектного мониторинга сил той же проектной организации позволяет не только в наиболее полном объеме предусмотреть различные аспекты системы контроля за функционированием объектов, но и лишней раз заставит задуматься проектировщиков о возможности длительной перспективы эксплуатации создаваемой ими системы экологического обустройства.

На стадии разработки проекта системы экологического обустройства работа над созданием системы постпроектного инженерно-экологического мониторинга должна включать следующие основные этапы:

обоснование параметров, служащих показателями эффективности работы системы экологического обустройства, и обоснование допустимых диапазонов их колебаний. Набор этих параметров должен быть относительно небольшим, чтобы их отслеживание представляло собой реально выполнимую задачу, и вместе с тем отражать различные процессы, протекающие в водотоке и на прилегающей к нему территории. В него следует включить как показатели, характеризующие состояние инженерно-технических объектов, так и показатели, указывающие на состояние водотока, его гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов;

разработку инструктивно-методических материалов, регламентирующих сроки и порядок проведения постпроектного мониторинга. Необходимым условием эффективности мониторинга яв-

ляется регулярность его проведения. Причем, сроки должны устанавливаться исходя из особенностей того или иного водотока. Например, необходимо более внимательно отслеживать эффективность функционирования системы экологического обустройства во время паводков, в периоды максимальной рекреационной нагрузки и т.д.

После сдачи системы экологического обустройства в эксплуатацию для создания эффективной системы постпроектного инженерно-экологического мониторинга необходимо:

согласование ранее разработанных инструктивно-методических материалов с государственными природоохранными и водохозяйственными органами и как результат — правовое закрепление регламента мониторинга, а также обоснование размеров и форм его оплаты;

заключение договора с органами исполнительной власти об абонентном обслуживании системы экологического обустройства малой реки. В этот договор целесообразно включить не только проведение постпроектного экологического мониторинга, но и осуществление необходимых работ по поддержанию данной системы в надлежащем состоянии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. «О Концепции по восстановлению малых рек и русловых водоемов города Москвы и первоочередных мероприятиях по реализации Концепции на период 2003-2005 гг.» //Постановление Правительства г.Москвы от 17 июня 2003 г. №450-ПП.
2. Бринчук М.М. Комментарий к Федеральному закону «Об экологической экспертизе». М.: Изд. БЕК. 1999.
3. Олейник К.А. Экологические риски в предпринимательской деятельности (вопросы методологии). М.: Анкил. 2002.
4. Михеев Н.Н., Шпагина А.Н., Ряполова С.Е. Водный кодекс Российской Федерации. Постатейный научно-практический комментарий. // Серия «Кодексы Российской Федерации» - Приложение к «Российской газете». VII. М.: Агентство «Библиотечка «Российской газеты», 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Бритвин С.О., Шербина В.И.</i> Организация системы мониторинга безопасного состояния ГТС в условиях централизованного управления..	3
<i>Пупышев Н.Н.</i> Методические подходы к оценке технического состояния гидросооружений .....	8
<i>Черненко В.Н., Машков С.Л., Кузнецов В.В., Саватеев М.В.</i> Современные способы и средства контроля динамических характеристик оползневых массивов .....	15
<i>Николаев А.П., Власов В.М.</i> К методике оценки напряженного состояния бетонных элементов конструкций по результатам измерений ПЛДС .....	22
<i>Крутов Д.А., Лавров Б.А.</i> О дополнении состава контролируемых показателей состояния бетонных плотин с учетом аномальных температурных деформаций расширения (на примере массивной гравитационной плотины Богучанского гидроузла) .....	28
<i>Добрынин С.Н., Долматов А.А., Маркин В.Н., Тихонова Т.С.</i> Автоматизированная система мониторинга выполнения рекомендаций комиссий по обеспечению безопасности ГТС на электростанциях РАО «ЕЭС России» .....	38
<i>Онипченко Г.Ф., Юрченко А.Н., Зюзин А.Г.</i> Результаты мониторинга водосброса Хоробровской МГЭС .....	45
<i>Слесарев В.А., Слесарев С.В.</i> Системный мониторинг промышленной безопасности зданий и сооружений ТЭС .....	52
<i>Храпков А.А., Никифоров А.А., Скоморовская Е.Я., Токарев К.Ф.</i> Комплекс инженерно-сейсмометрических наблюдений для системы контроля динамической стойкости Иркутской ГЭС .....	58
<i>Сугак В.С., Галямина М.С., Гагарина Т.И., Панова Н.М.</i> Компьютерная система мониторинга технического состояния механического оборудования гидротехнических сооружений Волго-Донского канала .....	69
<i>Горбов В.А., Черненко В.Н., Зиборов В.Н., Войтенко В.М.</i> Определение дефектов в сталежелезобетонном водоводе Загорской ГАЭС электромагнитным методом .....	75
<i>Мажбиц Г.Л.</i> Результаты обследований затворов водосливной плотины Волжской (Волгоградской) ГЭС для определения их эксплуатационной надежности .....	81
<i>Румянцев И.С., Каганов Г.М., Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И.</i> Оценка современного технического и экологического состояния ряда водоемов г. Москвы .....	88
<i>Лятхер В.М., Комельков Л.В.</i> Вибрация водосливной плотины Волжской ГЭС им. В.И. Ленина и расположенных на берегу жилых зданий при пропуске паводка .....	105

<i>Овчаров В.Н.</i> Подводно-технические обследования крепления бьефов и русл гидротехнических сооружений способом площадной съёмки на основе концепции «критерия изученности поверхности» .....	125
<i>Власов В.М., Ильяхин В.Н., Болтинцев В.Б., Кондратенко П.В.</i> Применение метода сверхширокополосного зондирования при обследовании инженерных сооружений .....	129
<i>Хомяк Р.В., Борткевич С.В., Воронин С.Г., Иванников В.М.</i> Исследования фильтрационных свойств грунтового экрана верхнего водоёма Днестровской ГАЭС на опытном фрагменте для оптимизации технологии его возведения .....	139
<i>Румянцев И.С., Мирзоев М.И.</i> Бетонные водосливные плотины со ступенчатой низовой гранью .....	146
<i>Поспелов В.П., Миренков А.Ф.</i> Специальные бетоны для повышения надежности сооружений .....	152
<i>Бронштейн В.И., Грошев М.Е., Султанбеков Р.Р.</i> Обоснование напряженно-деформированного состояния и конструктивных решений плотины Капанда (Ангола) на математических моделях .....	159
<i>Якушев А.А., Хохотва С.Н.</i> Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния системы плотина — основание... ..	171
<i>Красильников Н.А.</i> Использование нормативного метода расчета при анализе обрушения высокой плотины из грунтовых материалов .....	179
<i>Суздаева А.Л., Безносос В.Н., Кучкина М.А.</i> Экологический мониторинг водных объектов и экоаудит водопользователей как основа борьбы с биопомехами в системах техводоснабжения .....	189
<i>Безносос В.Н., Родионов Б.В., Суздаева А.А.</i> Инженерно-экологический мониторинг и реальные пути экологического обустройства малых рек .....	206

Вышел первый номер периодического научно-технического журнала «Малая энергетика» (учредитель ОАО «НИЭС»), издание ежеквартальное.



Российская малая энергетика сегодня — это 50 тысяч электрических и 200 тысяч тепловых станций мощностью до 30 МВт. Основу малой электроэнергетики в настоящее время составляют дизельные агрегаты (95%) и в меньшей степени газотурбинные установки и малые гидроэлектростанции. Перспективы развития малой энергетики связывают с использованием возобновляемой энергии рек, ветра, солнца, приливов, геотермального тепла и пр.

Развитие и функционирование малой энергетики в России всегда было трудным делом, но особенно много проблем в ней накопилось в последнее время, среди которых все большую остроту приобретает проблема аналитического, научно-технического и информационного сопровождения малой энергетики, поддержки и пропаганды новых энергетических технологий и агрегатов отечественного и зарубежного исполнения.

Редакционная коллегия журнала надеется, что это издание в той или иной мере поможет читателю восполнить информационный вакуум в ряде направлений, а также разобраться в многообразии зачастую противоречащих друг другу данных и предложений в области малой энергетики.

Основными функциями журнала, по мнению редакционного совета, должны стать аналитическая, научно-техническая, информационная, пропагандистская и рекламная.

Журнал публикует на своих страницах и на обложке рекламные материалы предприятий, институтов, объединений, фирм, акционерных обществ и прочих организаций по вопросам научно-производственной деятельности, развития нормативно-правовой базы, информационного обеспечения и маркетинга, образования и повышения квалификации, организации семинаров, совещаний, конференций по вопросам малой и нетрадиционной энергетики, производства энергетического оборудования и технических средств, а также их метрологии и сертификации. Предлагаем разместить рекламу на страницах нашего журнала.

Хотелось бы видеть наш журнал полезным, интересным, полемичным, информативным и доступным. Сделать его таким возможно только нашими совместными усилиями, и мы призываем к сотрудничеству в рамках данного журнала всех, кто заинтересован в развитии малой энергетики в России. Мы ждем Ваших предложений, проблемных и критических соображений и замечаний, новых идей и, конечно, интересных публикаций и материалов.

Стоимость журнала 280 руб. По вопросам приобретения журнала, размещения рекламы и публикаций обращайтесь в редакционный совет.

Наш адрес: 125362, Москва, Строительный проезд д. 7а.

E-mail: [pressnto@mtu-net.ru](mailto:pressnto@mtu-net.ru)

Справки по телефону (095) 497-21-51

**Безопасность энергетических сооружений  
Сборник**

Научный редактор: Щербина В.И.  
Технический редактор: Григорьева Т.А.  
Оригинал-макет и компьютерная верстка: Мелихова А.Г.

Подписано в печать 25. 12. 2004  
Формат 60x90/16. Гарнитура Таймс  
Бумага офс. №1. Печать офсетная  
Объем 14 п.л. Тираж 1000 экз.

Лицензия ИД № 06483 от 19 декабря 2001 г.  
ОАО «НИИЭС»  
125362, г. Москва, Строительный проезд, д. 7а.

Отпечатано в ООО «ГЕО-ТЭК»  
г. Красноармейск, Московской обл.  
Тел.: 584-1623.