

Научно-технический и производственный сборник

БЭС

Безопасность
энергетических
сооружений

50 лет

Научно-исследовательский институт

НИИЭС

энергетических сооружений

Вып. 4
1999

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

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

БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
СБОРНИК

Выпуск 4

Москва 1999

УДК 621.311

Сборник подготовлен к изданию Редакционным советом
в составе:

к.т.н. С.О. Бритвин (председатель), к.т.н., Л.А. Золотов (зам.
председателя), к.т.н. И.В. Семенов (научный редактор),
к.т.н. В.Б. Родионов (научный редактор), к.т.н. В.Г. Самарин
(секретарь)

**Безопасность энергетических сооружений. // Научно-технический и
производственный сборник. Вып.4. АО НИИЭС. М.:1999.
295с. (цв. вкл. - 8с.)**

Настоящий сборник продолжает информировать специалистов проектных, научно-исследовательских и эксплуатирующих организаций о современном уровне решения проблемы обеспечения безопасности энергетических сооружений.

Сборник открывается статьями о перспективах развития российской энергетики и роли Научно-исследовательского института энергетических сооружений (АО НИИЭС), отмечающего в этом году свое пятидесятилетие, в научном обосновании проектирования и строительства энергетических объектов и в обеспечении их безопасной эксплуатации.

В сборнике рассматриваются вопросы расчетного обоснования безопасности сооружений и пути ее повышения, численных исследований статического и сейсмического напряженно-деформированного состояния конструкций и достоверности современных численных методов расчета, а также вопросы взаимодействия высоконапорных гидроузлов и крупных водохранилищ с земной корой.

Значительное внимание уделено вопросам обследования состояния ряда конкретных сооружений и технологий ремонтных работ, обеспечивающих надежную эксплуатацию ГЭС, ТЭС и АЭС.

В ряде статей рассматриваются гидравлические аспекты проблемы, касающиеся компоновочных решений для малых ГЭС и ПЭС, математического моделирования половодных волн, пропуска паводков в стесненных горных условиях, безаварийной работы напорных энергетических водоводов и гидросилового оборудования.

В сборнике затронуты вопросы оценки и прогнозирования социально-экономических последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, анализа экологических последствий в зоне влияния гидроэнергетических объектов на окружающую среду.

Приводится обширная библиография отечественных публикаций по безопасности гидротехнических сооружений за 1990-1999г.г.

АО НИИЭС, 123362, Москва, а/я 393, Строительный проезд, д. 7а
Телефон: 493 51 32.

Факс: (095) 493 64 29

© АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», 1999

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

Бритвин О.В.

Первый заместитель Председателя Правления РАО «ЕЭС России»

Единая энергосистема (ЕЭС) России представляет собой комплекс электростанций и электрических сетей, объединенных общим режимом работы, единым централизованным оперативно-диспетчерским и противоаварийным управлением, едиными системами планирования и развития, технической политики, хозяйственных связей, информационных каналов, нормативно-технического и правового регулирования.

Функционирование и развитие ЕЭС России обеспечено топливно-энергетическими ресурсами природного газа, нефти, угля, ядерного топлива, гидроэнергии. Российская электроэнергетика оснащена отечественным оборудованием, обладает высококоразвитыми научно-техническим, проектно-изыскательским и строительно-монтажным отраслевыми комплексами, высококвалифицированными научными и инженерными кадрами, способными осуществлять разработку и внедрение новых технологий и обеспечивать поступательное развитие отрасли.

Основные сети ЕЭС России напряжением от 220 до 1150кВ объединяют 65 региональных энергосистем, около 500 тепловых, 9 атомных и более 100 гидроэлектростанций.

Характерной особенностью ЕЭС является существенно различающаяся структура генерирующих мощностей региональных энергосистем. Их сбалансированность по электрической энергии и мощности осуществляется в рамках ЕЭС, что определяет ее интегрирующую роль как основы энергетической безопасности регионов и страны в целом.

ЕЭС России имеет межгосударственные электрические связи с энергосистемами стран СНГ (Азербайджаном, Белоруссией, Грузией, Казахстаном, Украиной), а также с ОЭС Балтии. Через поставку постоянного тока с ЕЭС работает энергосистема Финляндии. От сетей ЕЭС России осуществляется пограничная торговля электроэнергией с Норвегией, Монголией и Китаем. Это позволяет ЕЭС России играть интегрирующую роль в области электроэнергетики для ряда сопредельных государств.

Как показал многолетний опыт эксплуатации ЕЭС, за все годы ее существования не было тяжелых системных аварий с нарушением энергоснабжения крупных городов и регионов, подобных тем, которые потрясли страны Северной Америки (США - 1975, 1977, 1989, 1994 и 1996гг.; Канада - 1982, 1988 и 1989гг.) и Западной Европы (Франция - 1978 и 1987гг., Швеция - 1979 и 1983гг., Бельгия - 1982г.).

Установленная мощность электростанций АО-энерго России на 01.01.99г. составляет 175,75млн. кВт (91% от установленной мощности электростанций России). Протяженность линий электропередач ЕЭС России напряжением 35кВ и выше составляет более 660тыс.км.

Электростанциями АО-энерго и АО-электростанций, несмотря на сложную ситуацию в 1998г., в эксплуатацию введено 940,99МВт генерирующих мощностей.

В прошедшем году по сравнению с 1997г. увеличился в 3,5 раза ввод системообразующих линий: построено 950км ВЛ 220кВ и выше, в том числе 446км линии Барнаул-Чита напряжением 1150кВ. В 1998г. введено в эксплуатацию 2,9тыс.м ВЛ напряжением 35кВ и выше.

В 1998г. было выработано 776,7млрд.кВт.ч электроэнергии, в т. ч. на ГЭС - 155,1млрд.кВт.ч.

Объем экспорта электроэнергии из России в настоящее время равен приблизительно 20млрд.кВт.ч в год (около 50% от максимальной величины экспорта электроэнергии из ЕЭС СССР в 1989-1990гг.), из которых 15,4млрд.кВт.ч поставляются в страны СНГ и Балтии и 5млрд.кВт.ч - в страны дальнего зарубежья.

В электроэнергетике России в 1992-1995гг. произошли существенные изменения. В переходный период электроэнергетический комплекс России был преобразован из централизованно управляемой государством системы в акционерные, частично приватизированные структуры, в которых работает около 1млн. человек.

Для управления электроэнергетическим комплексом Российской Федерации было создано РАО ЕЭС России, в уставной капитал которого внесены акции 186 акционерных обществ, в том числе 72 АО-энерго, 24 АО-электростанций, 5 АО-строительных организаций, осуществляющих строительство методом «под ключ»; 60 АО-научно-исследовательских и проектно-изыскательских институтов; 25 прочих акционерных обществ. Организован федеральный общероссийский оптовый рынок электрической энергии и мощности - ФОРЭМ. Формируются правовая база и система органов государственного регулирования тарифов на электрическую и тепловую энергию.

Состояние электроэнергетики на сегодняшний день характеризуется накоплением ряда серьезных проблем: неплатежи, составляющие до 25% всего объема реализуемой продукции, сложное финансовое состояние, старение основных фондов (более 1/3 производственных фондов отрасли превысили проектные сроки эксплуатации), недостаток инвестиций, значительная потеря рынков электроэнергии, несовершенство государственной ценовой политики, перекрестное субсидирование, неотработанность взаимодействия федеральных и региональных органов власти.

Энергетический комплекс характеризуется высокой капиталоемкостью и инерционностью. Поэтому ожидаемое в ближайшее время оживление экономики страны требует глубокого анализа и хорошо продуманных комплексных мер, которые предотвратят превращение российской электроэнергетики в «узкое место» национальной экономики и обеспечат ее конкурентоспособность в условиях интеграции в мировую экономику.

Масштабы и темпы развития электроэнергетики страны в рыночных условиях в период до 2010г. будут определяться условиями развития экономики, эффективностью энергоиспользования и динамикой цен на энергоносители.

Темпы развития экономики страны рассматриваются в диапазоне от 2,5-3,3% до 5% в год по валовому внутреннему продукту.

В этих условиях прогнозируемый спрос на электроэнергию к 2010г. оценивается в 1050-1120млрд.кВт.ч, что составит от 98% до 104% от уровня 1990г. (рис.1).

Существующая энергетическая база страны при ее надлежащей работоспособности позволяет обеспечить ожидаемую потребность в электроэнергии в целом по России до 2010г.

Установленная мощность электростанций России к 2010г. оценивается в диапазоне 245-265млн. кВт, в том числе АЭС - 25-28млн.кВт, ГЭС - 51млн.кВт, ТЭС - 170-180млн.кВт.

Намечаемые вводы генерирующих мощностей на электростанциях с учетом замены оборудования, выработавшего свой ресурс, в период 1997-2010гг составят около 60-80млн.кВт (рис.2).

Основным направлением развития гидроэнергетики на перспективу является окончание строительства уже начатых ГЭС и техническое перевооружение действующих ГЭС. К гидроэлектростанциям, имеющим значительный строительный задел и, соответственно, возможности ускоренного ввода относятся: Ирганайская, Зарамагская, Зеленчукские ГЭС, Богучанская, Бурейская, Нижнебурейская, Вилюйская ГЭС-3, Усть-Среднекачская, Аушигерская, Толмачевская ГЭС, ГЭС на р.Кемь.

Обеспечение надежной, бесперебойной и эффективной работы ЕЭС России и федерального рынка электрической энергии и мощности требует значительного электросетевого строительства. При реализации намеченных планов развития отрасли протяженность линий электропередачи напряжением 330кВ и выше к 2010г. составит более 50тыс. км или увеличится приблизительно на 20% по сравнению с 1997г.

Планируемые масштабы развития электроэнергетики требуют значительных капиталовложений. В период до 2010г. они оцениваются в 80-100млрд. долларов. В первую очередь, выделенные инвестиции будут направлены на выполнение следующих задач:

- замена выбывающего оборудования, модернизация, техническое перевооружение действующих энергетических и электросетевых объектов;

- завершение строительства объектов высокой степени готовности;
- повышение надежности электроснабжения тех регионов России, где в результате дезинтеграции ЕЭС бывшего СССР имеются сбои в энергоснабжении.

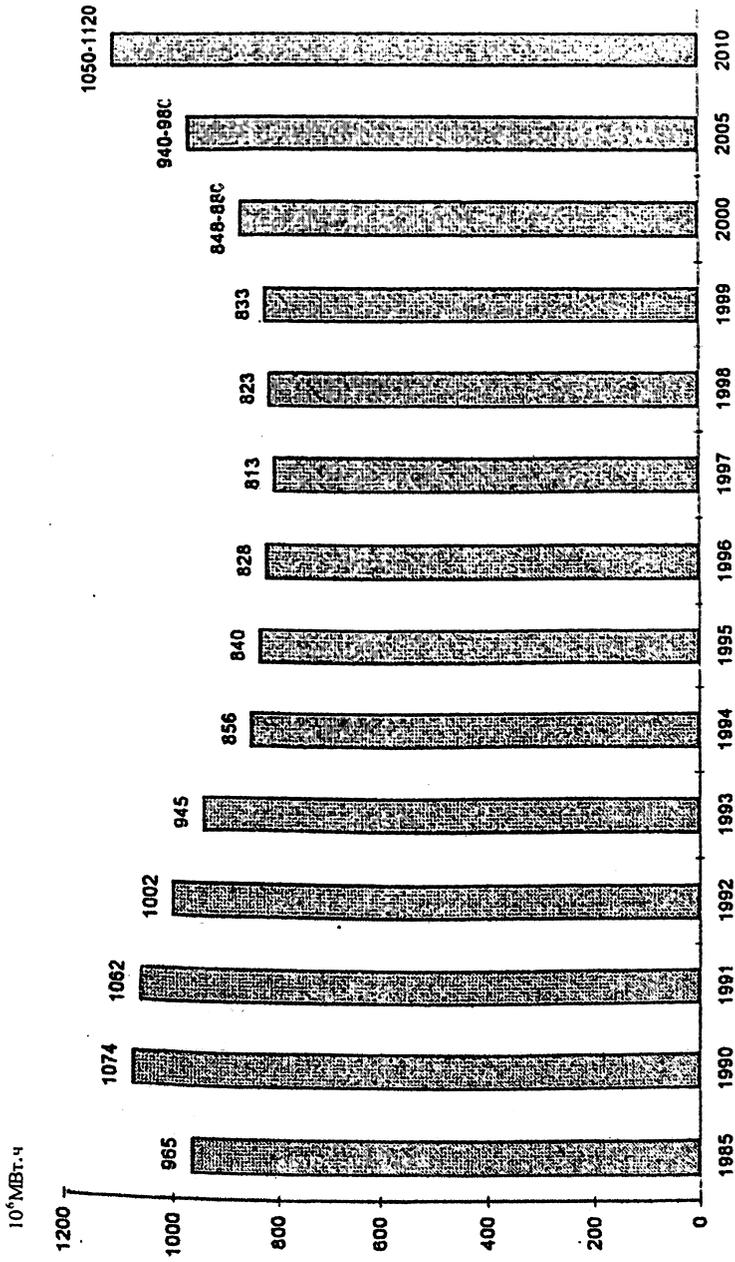


Рис.1. Спрос на электроэнергию в России, 1985-2010гг.

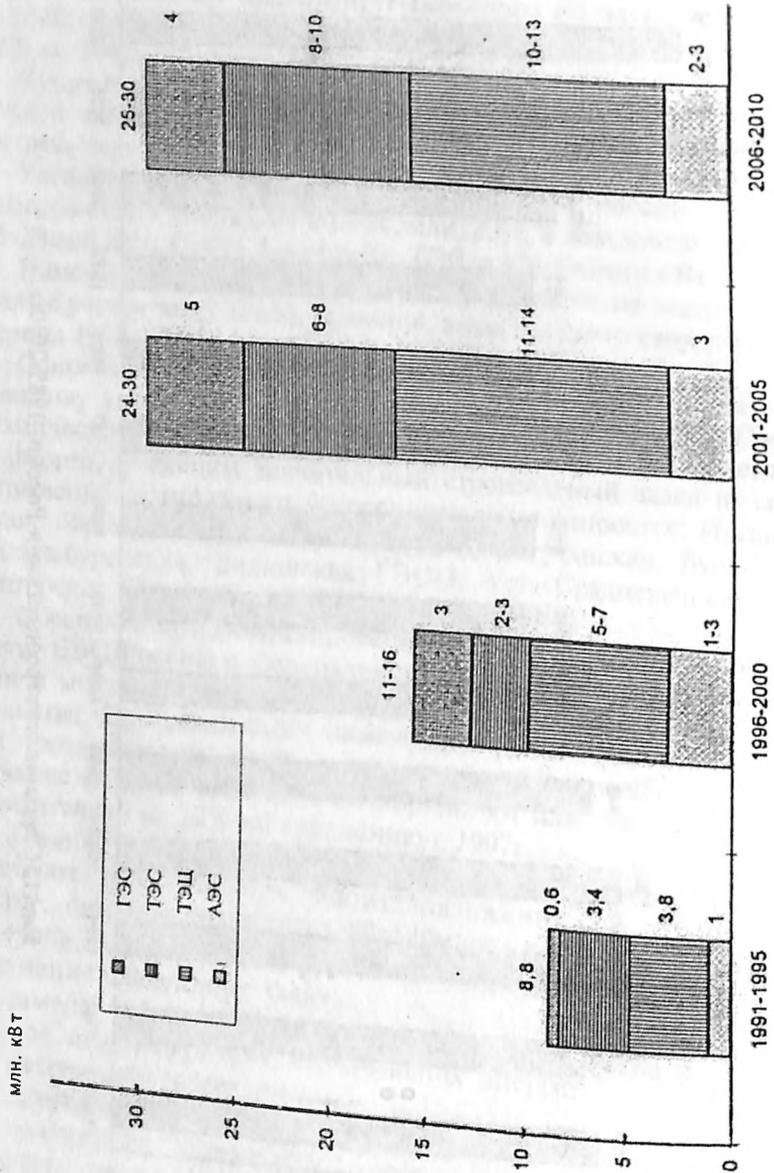


Рис.2. Намеченные вводы генерирующих мощностей, 1991-2010гг.

Для успешного развития ЕЭС России требуется решение ряда задач, к числу которых относятся:

финансовая стабилизация отрасли;
привлечение инвестиций в проекты модернизации действующих и сооружения новых электростанций и линий электропередачи;
формирование конкурентоспособного рынка электрической и тепловой энергии;

решение экологических проблем и вопросов безопасности энергетических объектов;

повышение внимания к проблемам надежности крупных энергообъединений, требующим согласованных решений между электросетевыми и генерирующими энергокомпаниями (режим работы, схемы противоаварийной автоматики и др.);

повышение технического уровня российской электроэнергетики путем обновления выбывающих мощностей тепловых электростанций на базе таких современных технологий, как газопаровые установки для электростанций, работающих на природном газе, и чистые угольные технологии для электростанций, работающих на твердом топливе;

максимально возможное вовлечение в энергобаланс гидравлических и атомных электростанций (ГЭС и АЭС), не использующих органическое топливо.

Решение поставленных задач обеспечит переход российской электроэнергетики и ее технологической основы - ЕЭС России - на качественно новый, более совершенный уровень функционирования, а также будет способствовать углублению интеграционных процессов в области энергетики на евразийском континенте.

50-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ АО НИИЭС

Бритвин С.О., кандидат техн. наук, генеральный директор института, Золотов Л.А., кандидат техн. наук, генеральный директор института с 1980 по 1998гг.

Научно-исследовательские работы стали неотъемлемой частью процесса проектирования и определяющим фактором повышения технического уровня и экономической эффективности гидротехнического строительства в Советском Союзе еще в тридцатые годы. В это время научно-исследовательские лаборатории создавались непосредственно на крупных стройках, таких как Беломорско-Балтийский канал (1930-1933г.г.), Угличский и

Рыбинский гидроузлы (1936-1938г.г.) и, особенно, на строительстве канала Москва-Волга (1932-1937г.г.). В послевоенный период особенно остро встали вопросы восстановления и дальнейшего развития энергетики страны. Необходимость выполнения большого объема исследований по обоснованию проектных решений крупнейших гидротехнических сооружений выдвинула на первый план задачу создания единого научного центра взамен лабораторно-исследовательских баз на каждой крупной стройке. Именно тогда постановлением Совета Министров СССР от 30 июня 1949 года был образован Научно-исследовательский сектор (НИС) Гидропроекта с представлением ему прав научно-исследовательского института союзного значения (ныне Научно-исследовательский институт энергетических сооружений - НИИЭС). Главная роль в создании НИСа Гидропроекта принадлежит выдающемуся советскому гидростроителю, академику С.Я. Жуку, который в тот период являлся начальником Гидропроекта и главным инженером строительства Волго-Донского канала и Цимлянской ГЭС. В НИС пришли специалисты с большим опытом работы на стройках, которые возглавили отдельные научные направления и много сделали для организации исследований в начальный период.

В первое десятилетие деятельность НИСа определялась решением задач по обеспечению высокой надежности и экономичности крупных гидротехнических сооружений на равнинных многоводных реках Европейской части Советского Союза с напорами до 30м, возводимых на мягких грунтах, а также по разработке и внедрению эффективных методов производства строительных работ больших объемов. Новизна принятых инженерных решений состояла в том, что эти сооружения возводились на легкоразмываемых грунтах, считавшихся ранее непригодными для такого строительства. Примером такого решения был Цимлянский гидроузел на песчаном основании с рекордным по тем временам удельным расходом воды $25\text{м}^2/\text{с}$. Исследования, выполненные для Волжских ГЭС, позволили обосновать устойчивость гидротехнических сооружений на слабых песчаных основаниях при динамических нагрузках, применить эффективный способ гашения энергии за водосливной плотиной с удельным расходом $45\text{м}^2/\text{с}$, успешно перекрыть русло реки в програне шириной до 300м фронтальным способом с наплавного моста, применить плиты-оболочки при строительстве плотин и шлюзов. Понимая, что прогресс в гидротехническом

строительстве немыслим без совершенствования методики самих исследований, коллектив НИСа предпринимает энергичные меры к развитию своей экспериментальной базы, которая становится одной из лучших в стране.

В шестидесятые годы проектировщики и исследователи перешли к решению новых проблем по Саратовской, Воткинской, Киевской, Каневской, Плявиньской и других ГЭС, в том числе проблем широкого применения сборных железобетонных конструкций и индустриальных методов работ при возведении ГЭС. Были разработаны и широко внедрены армопанельные конструкции, индустриальные методы стыковки арматуры и сборных железобетонных элементов, разработаны основы для широкого применения сборного железобетона в гидротехническом строительстве, проведены исследования по технологии изготовления и монтажа крупно-размерных сборных железобетонных элементов весом до 400 тонн применительно к конструкциям машинного здания Саратовской ГЭС.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями НИСа была обоснована целесообразность строительства на равнинных реках совмещенных гидроэлектростанций. Был проведен уникальный комплекс исследований гидротурбинного и электротехнического оборудования Волгоградской и Саратовской ГЭС на крупномасштабном стенде гидроиспытательной станции НИСа, и также комплекс натуральных исследований для подтверждения соответствия проектных характеристик технологического оборудования фактическим условиям эксплуатации и возможности повышения номинальной мощности агрегатов.

В семидесятые-восьмидесятые годы НИС внес значительный творческий вклад в научное обоснование проектов гидроузлов при освоении гидроэнергетического потенциала Сибири, Казахстана, а также горных рек Средней Азии, Северного Кавказа и Закавказья. Специфика гидроэнергетического строительства в этих районах поставила перед исследователями целый ряд новых задач. В их числе - строительство гидротехнических сооружений в условиях вечной мерзлоты, разработка новых компоновочных решений гидроузлов с подземными сооружениями, оценка сейсмостойкости гидроэнергетических объектов, гидравлика высоконапорных плотин, защита водопропускных сооружений от кавитационной эрозии при скоростях потока 30-50м/с, разработка новых конструкций, методов

расчета и технологии возведения высоких грунтовых и бетонных плотин. Все более важную роль в научном обосновании проектов начинают играть исследования гидравлических, динамических и энергетических характеристик проточной части гидроагрегатов и оборудования, оптимизация компоновок ГЭС, ГАЭС и насосных станций. Ведутся работы по созданию высоковольтных генераторов и АСУ технологическими процессами на гидростанциях с применением микро-ЭВМ. Комплекс новых научных разработок включает исследования, связанные с созданием ветроэнергетических установок, приливных электростанций и малых ГЭС. Особую роль в программе научных исследований начинают играть экологическое обоснование гидроэнергетического строительства, создание соответствующих нормативно-методических документов, а также разработка методических основ комплексной оценки надежности энергетических сооружений.

В середине восьмидесятых годов, в связи с проектированием Гидропроектом атомных электростанций с реакторами РМБК-1000, НИСу было поручено обеспечить научное сопровождение проектов. Для решения этих задач в кратчайшие сроки в НИСе был проведен ряд научно-организационных мероприятий. Необходимость решения новых научных задач потребовала создания специальной экспериментальной базы. В кратчайшие сроки в НИСе строятся новые лабораторные корпуса, оснащенные современной измерительной аппаратурой и исследовательскими стендами.

В восьмидесятых годах развитие гидроэнергетики продолжало осуществляться по принципам каскадного строительства гидроузлов и комплексного использования гидро-ресурсов для нужд народного хозяйства. Повышение эффективности гидроэнергетики потребовало создания ГАЭС и объединения их в энергокомплексы с крупными АЭС и ТЭС, строительства гидроузлов в районах распространения вечной мерзлоты, а также крупных высоконапорных ГЭС с агрегатами с единичной мощностью до 640МВт. Был предложен и обоснован принципиально новый класс водосбросов туннельного типа, работающих по принципу закрученного потока. Разработаны методы и программы расчета напряженно-деформированного состояния арочных плотин и их оснований в объемной постановке задачи. Выполнен комплекс математических, экспериментальных и натурных исследований по обоснованию основных технических ре-

шений, использованных при проектировании грунтовых плотин. При исследовании надежности грунтовых сооружений широко использовался метод центробежного моделирования для решения проблем трещинообразования в ядре плотины, устойчивости откосов, давления грунта на стенки сооружения. Обоснованы технические решения унифицированных ГАЭС на напоры 100-120м, использованные при строительстве Загорской и Кайшядорской ГАЭС. Решены сложные инженерные задачи при обосновании конструкций и технологии производства сборных напорных железобетонных водоводов диаметром 7,5м, располагаемых на потенциально неустойчивых естественных откосах. Разработан комплекс программ расчета обделок подземных выработок, позволяющий производить оптимизацию очертания и толщины обделок. Предложены методы исследований предельных состояний подземных выработок на моделях из эквивалентных материалов. Проведено научное обоснование применения уникального гидросилового оборудования для Рогунской ГЭС, выполнены исследования и созданы прогрессивные конструкции и компоновки оборудования для Каневской и Днестровской ГАЭС. Особое внимание было уделено исследованиям гидродинамических нагрузок на элементы проточного тракта, включая длинные напорные трубопроводы, в установившихся и переходных режимах, а также разработка требований к компоновкам и оборудованию перспективных ГАЭС. Была разработана и внедрена на Загорской ГАЭС система контроля состояния сооружений и оборудования с использованием ЭВМ и банка результатов измерений.

За годы своего существования НИС Гидропроекта вырос в крупную научную организацию, которая своим непосредственным участием в развитии отечественной энергетики и гидротехнического строительства завоевала заслуженный авторитет и признание в научном мире.

В современный период в нашем обществе, промышленности и в энергетике, в частности, происходят коренные изменения, встают новые задачи. Институт старается своевременно реагировать на возникающие потребности отрасли.

Обеспечение технической и экологической безопасности эксплуатации энергетических сооружений в условиях недостатка средств на поддержание необходимого уровня эксплуатации требует детального научного анализа процессов, про-

исходящих в сооружениях, их основаниях и на прилегающих территориях. Именно эти вопросы сейчас являются основными направлениями деятельности АО НИИЭС, коллектив которого сосредоточен на научном обосновании безопасной эксплуатации сооружений, в первую очередь гидроэлектростанций РАО «ЕЭС России», включая вопросы их ремонта, технического перевооружения и реконструкции.

В тяжелых экономических условиях 1993-1997 годов АО НИИЭС удалось сохранить ведущих специалистов и уникальное оборудование, провести реорганизацию и частичную переориентацию подразделений с учетом новых задач. Сейчас АО НИИЭС представляет собой мобильное развивающееся предприятие, стратегическим направлением развития которого как головной организации по отраслевой программе «Безопасность энергетических сооружений» является обеспечение решения задач комплексного характера, например научно-проектного сопровождения безопасной эксплуатации энергетического сооружения, когда весь объем наукоемких работ по объекту в части обеспечения его безопасности осуществляется одной организацией. Научно-проектное сопровождение включает: изготовление технических средств диагностики; разработку проекта установки технических средств диагностики; разработку и установку системы мониторинга, включая экологический мониторинг; разработку декларации безопасности; поведение натурных исследований, в случае установления необходимости - проведение ремонтных работ; разработку соответствующих проектов. Данная концепция реализована в работах по Загорской ГАЭС в рамках программы «Проведение комплексных работ по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений Загорской ГАЭС в 1999 - 2000 годах»; при подобной форме организации работ устраняются проблемы, связанные с взаимодействием большого числа организаций, решающих узкие задачи. Появляется Генеральный подрядчик по обеспечению безопасности эксплуатации сооружения, который берет на себя всю ответственность и контролирует все аспекты проблемы.

Мы твердо уверены в том, что российскую науку ждут лучшие времена, и эти времена не за горами, и делаем все возможное, чтобы ускорить этот процесс.

О ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ ГЭС «ТРИ УЩЕЛЬЯ» (КНР)

*Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Нефедов А.В кандидаты
техн.наук, Ляпин О.Б., инженер (АО НИИЭС)*

В настоящее время ускоренными темпами осуществляется строительство уникального гиганта гидроэнергетики «Три Ущелья» на р. Янцзы в КНР.

Колоссальная мощность гидроузла в целом (18200МВт), а также каждого из 26 агрегатов в отдельности (700МВт) вызвала необходимость предусмотреть в составе основных сооружений высоконапорные водоводы большого диаметра (12,4м), практически не имеющие аналогов в мировой практике.

Учитывая высокую ответственность сооружения и повышенные требования к его безопасности, проектирование и строительство водоводов потребовало тщательных всесторонних взвешенных подходов к разработке и обоснованию конструкции этих водоводов. При этом китайскими специалистами были проанализированы варианты, основанные на различных принципах и подходах, применяемых в мировой практике. Поэтому первоначально на стадии технического проекта при разработке конструкций водоводов были заложены принципы, аналогичные тем, которые принимались при возведении соизмеримого по своей масштабности класса крупнейших российских гидростанций (Красноярской, Саяно-Шушенской, Чиркейской и ряда других), проектируемых и построенных в 70-х - 80-х годах. В соответствии с нормами расчета сталежелезобетонных напорных водоводов, действующими до середины 80-х годов, предусматривалась как самостоятельная раздельная работа стальной оболочки и железобетонной части водовода, так и, соответственно, отдельные расчеты их прочности. По этой причине общий запас прочности для большинства перечисленных ГЭС составил 1,8 - 2,2 раза. Приблизительно двойной запас прочности был также заложен ранее в проекте водоводов ГЭС «Три Ущелья». При этом китайские специалисты были вынуждены предусмотреть колоссальное количество рабочей кольцевой арматуры, которая размещалась в четыре и даже в пять рядов (в носковой части плотины), что ставило трудновыполнимые задачи по монтажу армокаркаса и обетонированию водоводов.

В 1997-98гг. российским специалистам (АО НИИЭС совместно с СПКТБ Мосгидросталь) было оказано доверие принять участие в решении проблем водоводов гидроузла «Три Ущелья» по заданию правительственной Корпорации «Три Ущелья» и ГУП ВО Технопромэкспорт.

В 1997г. в ходе консультаций, проведенных российскими специалистами в районе строительства ГЭС «Три Ущелья» (г. Ичань, КНР), были даны рекомендации о значительном снижении количества арматуры вследствие возможности учета совместной работы оболочки и железобетонной части водоводов в их предельном состоянии (на основе российских норм, действующих с середины 80-х годов). Также было предложено заменить ранее предусматриваемую конструкцию компенсаторов в зоне деформационных швов между плотиной и зданием ГЭС (как не отвечающую требованиям по безопасности) на вариант конструкции с податливой низко модульной прокладкой, который нашел широкое применение в России.

Предложенный вариант заключался в устройстве на компенсационном участке длиной 10м прослойки из низко модульного материала толщиной 50мм вокруг стальной оболочки водовода, полностью отделяющей оболочку от окружающего железобетонного массива.

В 1998г. в АО НИИЭС были проведены комплексные расчетные исследования в целях проверки и обоснования новых проектных решений, принятых китайскими специалистами в результате проведенных консультаций.

На выполнение НИР от Корпорации «Три Ущелья» было получено техническое задание, которое включало следующие основные исходные данные.

1. Новая конструкция сталежелезобетонных водоводов со сниженным количеством кольцевой арматуры (до 3-х рядов) для береговой секции 6 и русловой секции 12 плотины в четырех поперечных сечениях, выделенных для проверки прочности:

- в конце верхнего колена;
 - в середине прямолинейного наклонного участка;
 - в конце прямолинейного наклонного участка;
 - в вертикальном сечении нижнего горизонтального участка.
- Данные о конструкции водоводов сведены в таблицу 1.

2. Характеристики материалов стальной оболочки (табл.2), а также арматуры класса III.

Таблица 1
Характеристики оболочки и арматуры в проектных сечениях водоводов

сече- ния	Марка стали	Толщина стальной оболоч- ки, (мм)	Площадь попе- речного сечения кольцевой ар- матуры, (см ²)	Расположение коль- цевой арматуры
I-I	16 МпR	28	116,2	3Ø36@25см
II-II	16 МпR	30	137,1	3Ø36@22см
III-III	16 МпR	34	157,9	3Ø36@19см
IV-IV	60 кг/мм ²	32	180,1	3Ø40@21см

Таблица 2
Расчетные сопротивления металла стальной оболочки водовода (МПа)

Тип метал- ла стальной оболочки	Толщина листа обо- лочки	Проектное напряжение	Напряжение текучести	Напряжение разрушения
16 МпR	26-36	310	310	480
60 кг/мм ²	32	402	460	600-720

3. Характеристики бетона плотины и здания ГЭС, а также скального основания, имеющего высокую прочность и сплошность.

4. Среднемесячные значения температур окружающей среды (табл.3).

Таблица 3
Среднемесячная температура воды и окружающего воздуха (°С)

Меся- цы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
темпе- ратура воздуха	6,0	7,4	12,1	16,9	21,7	26,0	28,7	28,0	23,4	18,1	12,3	7,0
темпе- ратура воды	13,7	12,2	11,3	13,0	14,8	17,9	20,6	22,1	22,1	19,6	17,0	15,5

5. Три варианта периода завершения монтажа водоводов (замыкания последнего звена) на низовом горизонтальном участке водоводов, соответственно, в апреле, июле и октябре.

6. Основные данные о конструкциях здания ГЭС, в том числе о спиральной камере.

7. Данные о гидравлических нагрузках (с учетом гидроудара), которые сведены в таблицу 4, а также данные о нагрузках от основного оборудования и веса сооружений.

Таблица 4

Значение давления воды внутри водовода
(включая давление от гидравлического удара), МПа

Проектные сечения	I-I	II-II	III-III	IV-IV
Проектный режим	0,89	1,05	1,21	1,38
Проверочный режим	0,95	1,11	1,27	1,44

8. Предварительные данные о взаимных осадках и смещениях плотины и здания ГЭС в зоне деформационного шва, требующие последующего уточнения в ходе выполнения работы.

9. Другие данные, в том числе об отметках цементирования деформационного шва, о разрезке на ярусы бетонирования, тепловыделении бетона и пр.

В задачи исследований входило:

исследование общей прочности сооружений плотины и здания ГЭС, в том числе в зоне водоводов;

проверка прочности водоводов в четырех поперечных расчетных сечениях;

проверка прочности водоводов на компенсационном участке с обоснованием варианта конструкции на основе применения низко модульной прокладки;

исследование влияния отметки цементирования деформационных швов;

проверка прочности водоводов при различных вариантах периода завершения монтажа водоводов.

Поперечные разрезы береговой и русловой станционных секций плотины с напорными водоводами представлены на рис.1. Там же показано расположение выделенных расчетных поперечных сечений I-I, II-II, III-III, IV-IV.

На первом этапе расчетов исследование общей прочности и деформаций системы плотина - здание ГЭС - основано и проводилось на основе ряда плоскоприведенных моделей, которые разрабатывались для береговых и русловых секций плотины, а также для различных вариантов цементирования деформационных швов между плотиной и зданием ГЭС. Вид конечно-элементной модели русловой секции плотины представлен на рис.2.

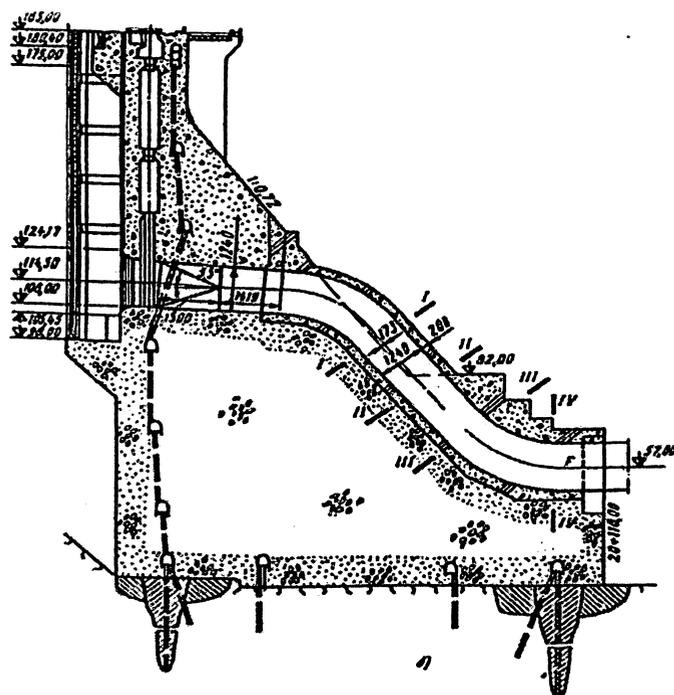
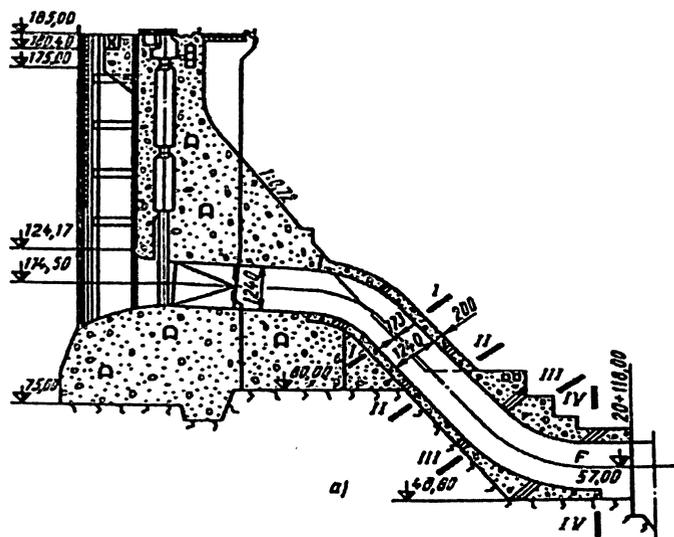


Рис.1. Схема расположения напорных водоводов и расчетных поперечных сечений I-I, II-II, III-III, IV-IV: а - в береговой секции; б - в русловой секции.

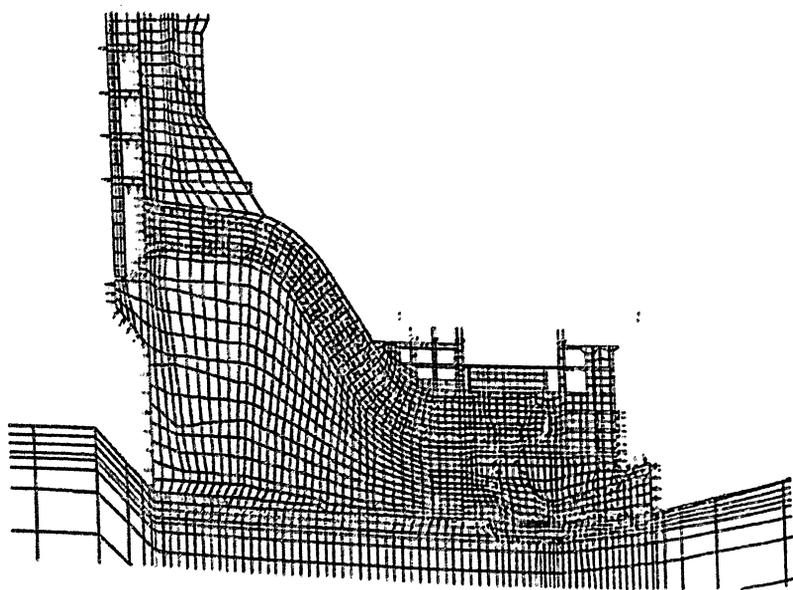


Рис.2. Конечноэлементная модель русловой секции плотины со зданием ГЭС

Помимо указанных выше основных значений гидравлической нагрузки внутри водоводов и нагрузок от оборудования в здании ГЭС, в расчетах также учитывались:

фильтрационное и взвешивающее давление на подошву плотины и здания ГЭС (принимались по СНиП 2.06.06-85. «Плотины бетонные и железобетонные»);

давление воды в спиральной камере; а также дополнительные гидравлические нагрузки с учетом центробежных и тангенциальных составляющих на изогнутых участках водоводов.

Расчеты показали, что величины взаимных перемещений и осадок плотины и здания ГЭС сравнительно невелики вследствие высоких значений деформативных показателей скального основания. Наибольшие взаимные смещения плотины и здания ГЭС вызываются годовыми изменениями температур. При этом в зимний период деформационный шов между плотиной и зданием ГЭС раскрывается, а в летний период закрывается.

Полученные значения осадок и смещений в зоне деформационного шва в зависимости от температурного режима, а также от отметок цементирования швов сведены в таблицу 5.

Таблица 5.

Относительные перемещения плотины и здания ГЭС в зоне деформационного шва

Нагрузки и воздействия	Значения перемещений (мм)			
	Береговая секция (шов зацементирован ниже отметки 51м)		Русловая секция (шов не зацементирован)	
	Горизонтальные перемещения	Вертикальные перемещения	Горизонтальные перемещения	Вертикальные перемещения
Давление воды на плотину и внутри водовода	0,99	0,10	2,34	0,59
Изменение температуры «средняя за год - минимальная зимой» (охлаждение)	0,86	0,34	1,70	0,37
Изменение температуры «средняя за год - минимальная летом» (нагрев)	1,11	0,45	1,80	0,51

На цветной вкладке представлены графически результаты расчетов деформаций и главных напряжений для русловой секции плотины.

На втором этапе НИР выполнялась проверка прочности в сечениях I-I; II-II; III-III; IV-IV. Конструкция водовода в поперечном сечении I-I со схемой расположения арматуры представлена на рис.3.

Расчеты прочности проводились по усилиям и напряжениям, вычисленным для сечений в целом и в элементах водоводов (стальной оболочке, арматуре и бетоне). С этой целью была разработана серия плоских конечно-элементных моделей, которые включали стальную внутреннюю оболочку, бетонную часть, арматуру, трещины, а также окружающий массив бетона (в том числе примыкающие «глухие» секции плотины) и скальное основание (в низовых сечениях III-III и IV-IV). Фрагмент конечно-элементной модели сечения I-I представлен на рис.4. Результаты расчетов максимальных напряжений в оболочке и арматуре представлены в таблице 6. Распределение главных напряжений в сечении I-I представлено графически на цветной вкладке.

Таблица 6

Результаты расчетов напряжений в оболочке и арматуре

сечения	Тип секции плотины	Напряжения в оболочке σ_s , МПа	Напряжения в арматуре σ_s , МПа
I-I	Береговая	196,3	196,4
	Русловая	196,3	196,4
II-II	Береговая	209,6	196,2
	Русловая	210,9	199,0
III-III	Береговая	129,2	124,8
	Русловая	187,4	180,5
IV-IV	Береговая	156,4	149,3
	Русловая	194,4	192,5

На третьем этапе НИР выполнялась проверка прочности и обоснование предложенного варианта конструкции компенсационного участка с применением низко модульной прокладки. Для этой цели были разработаны трехмерные модели фрагмента сооружения в зоне деформационного шва. Модели для русловых и береговых секций включали фрагменты плотины и здания ГЭС, стальную внутреннюю оболочку водовода с ребрами жесткости, низко модульную прокладку, арматуру, деформационный шов при разных отметках его цементирования, трещины, массив основания и пр.

В качестве граничных условий на гранях фрагментов прикладывались напряжения, полученные из расчетов на первом этапе НИР, а также вычисленные осадки и смещения на концах компенсационного участка.

Одними из основных факторов, влияющих на напряженное состояние оболочки водовода и окружающей железобетонной части, являются температурные режимы, определяемые сроками завершения монтажа водоводов.

Картина напряженного состояния оболочки в пределах компенсационного участка водовода представлена на цветной вкладке.

Расчеты показали, что во всех расчетных случаях условия прочности сталежелезобетонной конструкции выполняются, однако рекомендуется выполнять замыкание последних звеньев водоводов в апреле или в октябре, что обеспечит наименьшие значения температурных напряжений в оболочке.

Были рекомендованы две схемы армирования компенсационного участка. Одна схема разработана в целях повыше-

ния безопасности сооружения на основе рассмотрения аварийного случая при прорыве стальной оболочки и полной передаче давления воды на железобетонную часть. Другая схема армирования разработана при учете нагрузок для случая нормальной эксплуатации также из соображений повышения безопасности сооружения.

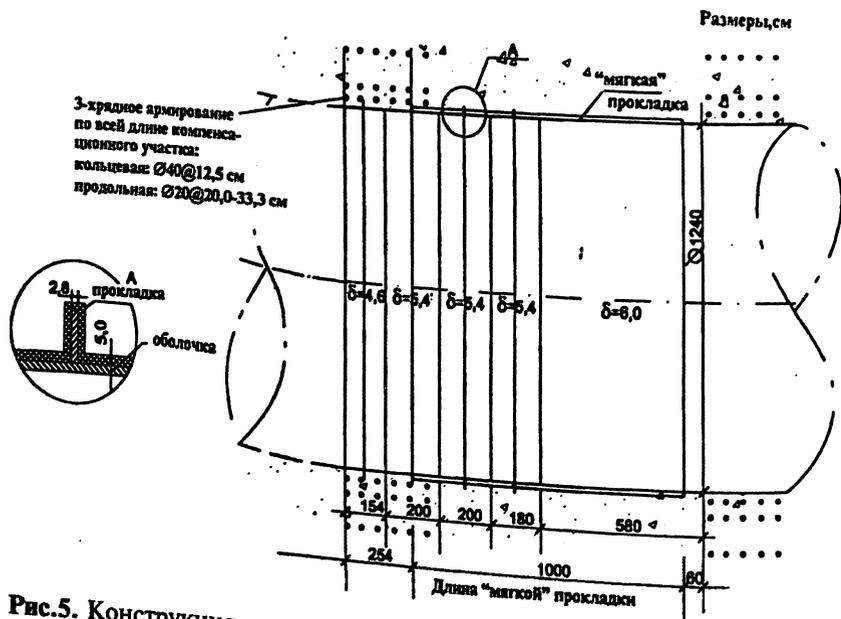


Рис.5. Конструкция водовода на компенсационном участке со схемой армирования.

На рис.5 представлена конструкция водовода на компенсационном участке со схемой армирования, соответствующей учету нагрузок аварийного случая.

Проведенные в рамках выполненной НИР комплексные расчетные исследования подтвердили высокую надежность и безопасность принятых проектных решений, которые были рекомендованы для дальнейшей реализации в строительных конструкциях гидроузла «Три Ущелья».

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ВЫСОКОНАПОРНЫХ БЕТОННЫХ ПЛОТИН.

*Марчук А.Н., доктор техн. наук, Фахри С.А.,
Марчук Н.А., инженеры (ОИФЗ РАН)*

Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН в 1991г. в рамках ГНТП «Безопасность» начал изучение проблемы взаимодействия высоконапорных гидроузлов, крупных водохранилищ с земной корой. Полевые исследования с использованием измерительных систем плотин начались в 1992 году на каскаде Токтогульских ГЭС сразу после Сусамырского землетрясения 1992 года. В основе этой работы лежат накопленные материалы натурных наблюдений на больших отечественных гидроузлах в сейсмических районах, последние достижения наук о Земле, представление о статически неопределимых типах высоких бетонных плотин как чувствительных датчиках, встроенных в земную кору, а также новейший опыт прогноза землетрясений [1,2,6].

Чувствительность плотин к геодинамическим процессам объясняется их близостью к тектоническим разломам, которые активизируются водохранилищами, высокими градиентами напряжений геофизических полей в створе, оснащённостью многофункциональными измерительными системами. Геодинамическое влияние на напряженно-деформированное состояние плотин реализуется природными и возбужденными землетрясениями, блоковыми движениями, крипом, гидрогеодинамическими и геохимическими процессами, изменениями локальных полей тектонических напряжений, оползнями и обрушениями, дифференцированной работой берегов. Из указанных воздействий СНиП 2.06.06-85, п.4 в перечне нагрузок учитывает только одно сейсмическое воздействие без афтершоков и возбужденной сейсмичности. Между тем геодинамический риск аварий и отказов бетонных плотин по прочности на сдвиг и трещинообразованию может достигать 30% и более [3]. Достаточно вспомнить драматические истории с плотинами Вайонт, Койна, Кельнбрайн и другие, чтобы понять важность проблемы, необходимость исследования и учета этих нагрузок, не предусмотренных в проектах.

Первые циклы исследований с помощью действующих измерительных систем каскада Токтогульских ГЭС, Чиркейской,

Зейской и Саяно-Шушенской плотин в режиме, близком к реальному времени, позволяют предварительно оценить роль каждого из этих видов геодинамических воздействий.

Возбужденная сейсмичность имеет место на всех указанных объектах и проявляется в периоды экстремумов УВБ: при ГМО в марте-апреле, при ФПУ или НПУ и при высоких интенсивностях наполнения водохранилища. Кроме того, возбужденные землетрясения могут инициироваться близкими промышленными взрывами или недалеко природными землетрясениями. Энергия возбужденных толчков невелика, она характеризуется энергетическим классом K в основном со значениями $K=4-10$, где $K=\lg E$, E - энергия землетрясения в джоулях. Интенсивность таких сотрясений в 1-3 балла почти не ощущается на фоне техногенных вибраций от энергетического и гидромеханического оборудования. Опасность заключается в количестве таких толчков (до 300 в год) и времени их появления, например при катастрофических паводках.

Не касаясь сейсмологической проблемы распознавания возбужденных толчков, отметим, что все слабые землетрясения частично или полностью демпфируются трещинной водой с выбросом ее в дренажную сеть плотины. Создаваемый ими пульсирующий гидродинамический режим вызывает импульсное увеличение противодействия, способствует разрушению и выносу заполнителя трещин, разуплотняя скальное основание, повышая его деформативность с соответствующими последствиями для сооружения. На Чиркейской ГЭС в дренажные скважины выжималась глина трения и суспензия из глинистых прослоек с увеличением осадки плотины в годы повышенной сейсмической активности [4]. Возбужденная сейсмичность снижает сопротивление сдвигу по трещинам в породе, провоцирует крип и увеличение скорости движения оползней на откосах, заглушает пьезометры, ухудшает работу дренажа. В плитчатых карбонатных породах с глинистыми прослойками подвижки оползней неизбежны (рис.1).

Блоковые движения вызываются современной тектонической активностью ближайших разломов в результате создания водохранилища с переменной нагрузкой на вмещающую геологическую среду. Их воздействие на плотины определяется степенью иерархии и величиной подвижек. Мелкие блоки в приконтактной зоне основания подвержены еще влиянию гидродинамических градиентов и изменениям напряженного состояния сооружения на контакте с основанием. Наиболее

опасны движения крупных блоков в створе плотины, способные вызвать скалывающие напряжения в бетоне или нарушения уплотнений в швах. На Зейской ГЭС в головной части водохранилища нивелировками воронки оседания обнаружены вертикальные смещения бортов оперяющих разломов до 110мм в год [5], относительные вертикальные подвижки в межсекционных швах по показаниям трехосных щелемеров - до 0,40мм, горизонтальные по течению - до 0,6мм, вдоль створа - 0,5мм. Все эти «активные» швы расположены под тектоническими нарушениями. Значительно большие размахи блоковых движений показывают системы СГС (сдвигомеры) или обратные отвесы с якорями, заглубленными в скальное основание (рис.2). Эти движения могут быть медленными (от унаследованности или гидростатической нагрузки) или быстрыми - сейсмогенными. Якоря обратных отвесов в основании Саяно-Шушенской плотины на глубине 40-60м только за период 1994-1996гг. показали смещения в сторону нижнего бьефа на 8,5-11,4мм, а вдоль створа до 3мм к левому берегу под ключевой секцией. Зафиксированные размахи импульсных движений на фоне медленного смещения блоков достигают значений 3мм в радиальном и более 2мм в тангенциальном направлении. В основании Зейской плотины сейсмогенные смещения достигают соответственно 1 и 1,5мм, несколько меньшие (0,8 и 1,2мм) в основании Чиркейской плотины.

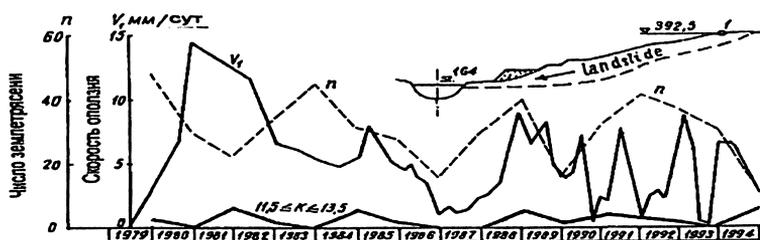


Рис.1. Изменение скорости движения оползня на правом берегу Миатлинской плотины под влиянием сейсмической активности.

Прямым следствием блоковых движений являются приконтактные трещины в бетоне (секции 25 Зейской плотины), вскрытие зацементированных скважин, цемзавесы в основании Саяно-Шушенской плотины, «срезка» водоприемников пьезо-

метров с потерей чувствительности в береговых примыканиях, наблюдаемая на всех трех плотинах.

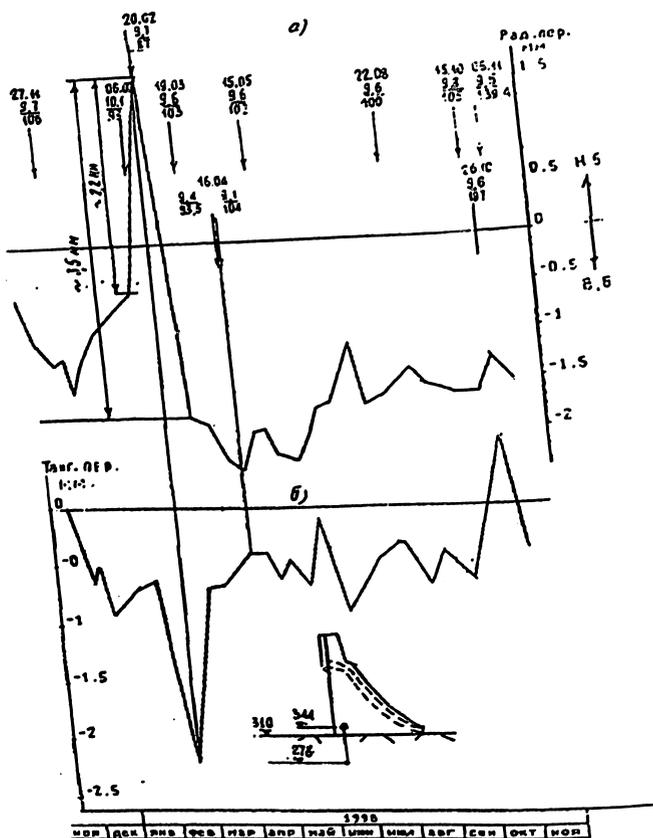


Рис.2. Блоковые движения в основании секции 18 на отметке 278м Саяно-Шушенской ГЭС:

а) радиальные перемещения; б) тангенциальные перемещения.

Крип может быть порожден унаследованным тектоническим движением под действием разгрузки локальных полей тектонических напряжений в результате создания водохранилища, возбужденной сейсмичностью, работой водосбросных устройств большой мощности, изменением гидрогеологических и геохимических условий или совокупностью этих факторов.

Это явление характерно для статически неопределимых распорных типов плотин. Его наличие определяется сразу,

как только напряжения в плотине, ориентированные вдоль створа, превысят расчетные проектные максимальные значения. Такая картина наблюдается на всех указанных плотинах - напряжения σ_z вдоль створа (арочные) превосходят расчетные величины иногда в два раза. Хорды арочных плотин со временем сокращаются по длине. На Чиркейской плотине, подверженной криповому давлению со стороны более высокого левого берега, арочные напряжения сжатия имеют значение 12,3МПа вместо 9МПа по расчету для особого сочетания нагрузок [4]. Под действием крипового давления наблюдается депланация арки в зоне максимального сжатия (рис.3).

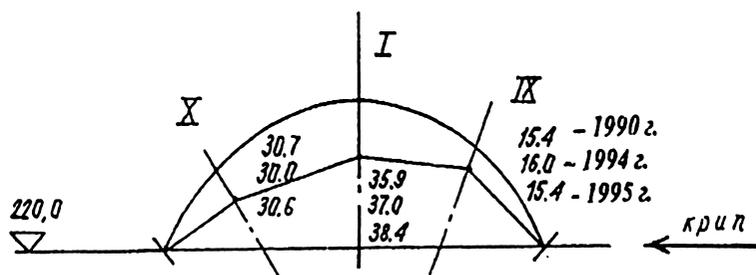


Рис.3. Схема радиальной депланации арочных поясов плотины Чиркейской ГЭС по показаниям отвесов на 1990, 1994, 1995гг.

На контрфорсной плотине Зейской ГЭС, рассчитанной по плоской задаче, имеет место объемное напряженное состояние с напряжениями продольного сжатия в среднем 6МПа [5]. При этом криповое давление со стороны правого берега передается на контрфорсы по балкам перекрытия полостей и выводит контрфорсы из плоскости.

На плотине Саяно-Шушенской ГЭС крип, по нашему мнению, вызван всеми перечисленными выше причинами. Институтом земной коры СО РАН здесь признано наличие унаследованных движений в гранитной интрузии, прорвавшей сланцы основания плотины с правого берега - на левый. Собственные напряжения в массиве вмещающих горных пород имеют высокий уровень, до 30-40МПа; вектор главных осей сжатия направлен нормально к руслу р.Енисей, а осей растяжения - вдоль течения, по линии действия гидростатического давления. Параметры сопротивления сдвигу в породах правобережного примыкания состав-

ляют 0,8 от левобережных, здесь имеются пологонаклонные трещины с простираем в нижний бьеф и к левому берегу. На более высоком правом берегу проходят два главных сейсмогенерирующих разлома в регионе - Борусский и Кантегирский. Под правым берегом расположена водосбросная часть плотины с водобойным колодцем, где гасится мощность потока в 25-30млн.кВт. В строительный период в правобережном примыкании пройдены 2 яруса строительных тоннелей и 4 полки бетоновозных автодорог, что существенно повысило деформативные свойства массива. Вместе с тем, этапность возведения плотины обусловила меньшие значения арочного сжатия на правом берегу. В сочетании с высокой призмой сработки 40м, а в строительный период размах наполнения и сработки достигал 60-80м, вызывая активную возбужденную сейсмичность, создались условия крипового давления с правого берега. Определение величины этого давления выполнено путем вычисления приращений арочных напряжений при постоянных нагрузках за 6 лет эксплуатации плотины при НПУ и составляет от 7 до 14% от общей арочной нагрузки на правый берег от проектного гидростатического напора (основного сочетания нагрузок). Последствиями крипового давления является продолжающийся рост арочных напряжений с большей интенсивностью на низовой грани, появление трещин на напорной грани секции 38 и 48 по краям водобойного колодца, отклонение от вертикали осей большинства секций в сторону левого берега, сокращение длины дуги плотины. Следует признать, что в створе плотины Саяно-Шушенской ГЭС криповое давление имеет в настоящее время положительное значение, компенсируя податливость береговых примыканий и повышая устойчивость плотины на сдвиг. Однако этот процесс требует постоянного контроля, поскольку максимальные напряжения сжатия в плотине близки к предельным расчетным значениям ($\sigma_z^{\max}=12,2$, $\sigma_z^{\text{расч}}=13\text{МПа}$).

Гидрогеодинамические и геохимические процессы существенно влияют на качество основания. Градиент напора фильтрационных вод при входе в дренаж в основании плотины Саяно-Шушенской ГЭС достигает значений 40 при допустимом 30 и расчетном 9-10. При выходе дренажных вод из вскрывшихся цементационных скважин это значение может быть и больше. Понятно, что при таких градиентах в сочетании с блоковыми движениями происходит разруше-

ние, измельчение и вынос заполнителя трещин. Если заполнитель трещин включает природные карбонатные и сульфатные цементы, то для него представляет опасность и химическая агрессия. Химический анализ дренажных вод в береговых примыканиях плотины Саяно-Шушенской ГЭС показал, во-первых, что воды являются агрессивными ($pH < 8$), а во-вторых, что на правом берегу наблюдается вынос сульфатов из даек основного состава. Выдержанная поверхность даек, таким образом, может представлять собой потенциальную плоскость сдвига. На Зейской ГЭС режим обходной фильтрации характеризуется резкими сезонными изменениями пьезометрических уровней из-за промерзания низового откоса на правом берегу. Это усиливает опасность крипа, оползней и даже сейсмогенных обрушений, делает настоятельной необходимость устройства дренажа правобережного примыкания с помощью дренажного тоннеля, как это сделано на левом берегу.

Оползни и обрушения (рис.1) являются почти типовым событием на гидроузлах в ортогенных областях. В головной части Чиркейского водохранилища вершат свое медленное движение четыре потенциально неустойчивых массива. Скорость этого движения составляет в среднем за три года до 2м/год (массив IV). Со стороны правого берега на плотину Миатлинской ГЭС с 1978г. движется оползень объемом 3млн.м³, который прошел путь уже более 30м. В ноябре 1991г. на левобережном примыкании плотины Чиркейской ГЭС, под площадкой ОРУ, произошло обрушение породы объемом около 5тыс.м³. 3 ноября 1992 года обрушилась часть левобережного откоса объемом 500м³ у примыкания плотины Саяно-Шушенской ГЭС. В этих двух обрушениях было много общего: оба они произошли при наполненном водохранилище с одинаковой призмой сработки 40м, в зоне максимальных арочных напряжений сжатия в холодное время года с обильными осадками, после периодов высокой сейсмической активности. Только счастливая случайность помогла избежать жертв: порода обрушилась на подходные дороги к зданиям ГЭС с оживленным движением. В примыканиях обеих плотин имеются потенциально неустойчивые массивы, закрепленные анкерровкой и без креплений. Опасность обрушений остается и требует непрерывного контроля.

Как нейтрализовать негативное влияние геодинамических воздействий на плотины? По этому поводу можно высказать

только предварительные соображения из-за отсутствия практического опыта.

Для вновь проектируемых сооружений можно рекомендовать более тщательный выбор створов, проектных напоров и коэффициентов запаса по прочности и устойчивости. Хорошим примером может служить плотиностроение Японии. Более остро эта проблема стоит применительно к существующим высоконапорным плотинам, особенно в районах, где нормативная сейсмичность повышена по сравнению с проектной. Поскольку в настоящее время перспектива усиления больших плотин представляется нереальной, на первое место выходит необходимость оперативного прогноза опасных геодинамических процессов, прежде всего - землетрясений.

Первые результаты наших наблюдений и исследований на Токтогульской, Чиркейской, Миатлинской, Саяно-Шушенской и Зейской ГЭС позволяют утверждать, что измерительные системы плотин способны фиксировать подготовительный период землетрясений и делают возможным оперативный их прогноз /патент РФ 206 8185/ .

Как показывает опыт [6], первыми появляются гидрогеодинамические предвестники - аномалии в режиме фильтрации, дебите дрен, пьезометрических уровнях по отношению к нормальным зависимостям от УВБ. Почти одновременно выявляются и геохимические предвестники - повышение концентрации ионов хлора, натрия и калия, углекислого газа, сульфатов и т.п. Столь же чувствительны к изменениям тектонических напряжений прямые и обратные отвесы. Менее чувствительны струнные датчики ПЛДС, ПЛПС, хотя в автоматизированном режиме опроса и они обнаруживают подготовку толчков, особенно четко энергетических классов 9 и выше.

Все виды предвестников действуют по схеме «подъем-спад-толчок». Их распознавание и проверку по всем измеряемым параметрам необходимо проводить на стадии «подъем». Он бывает всегда аномальным по отношению к нормальной зависимости параметра от УВБ. В технологии прогноза (рис.4) весьма важно определить момент перехода от подъема к спаду в режиме реального времени. Эта точка перелома означает старт отсчета прогнозного времени. Ее физический смысл - завершение процесса накопления упругих тектонических напряжений и начало их разрядки - дилатансии. Трещины сжаты, фильтрационный расход и пьезометрические уровни падают, деформации меняют знак. При достаточно длинном ретро-

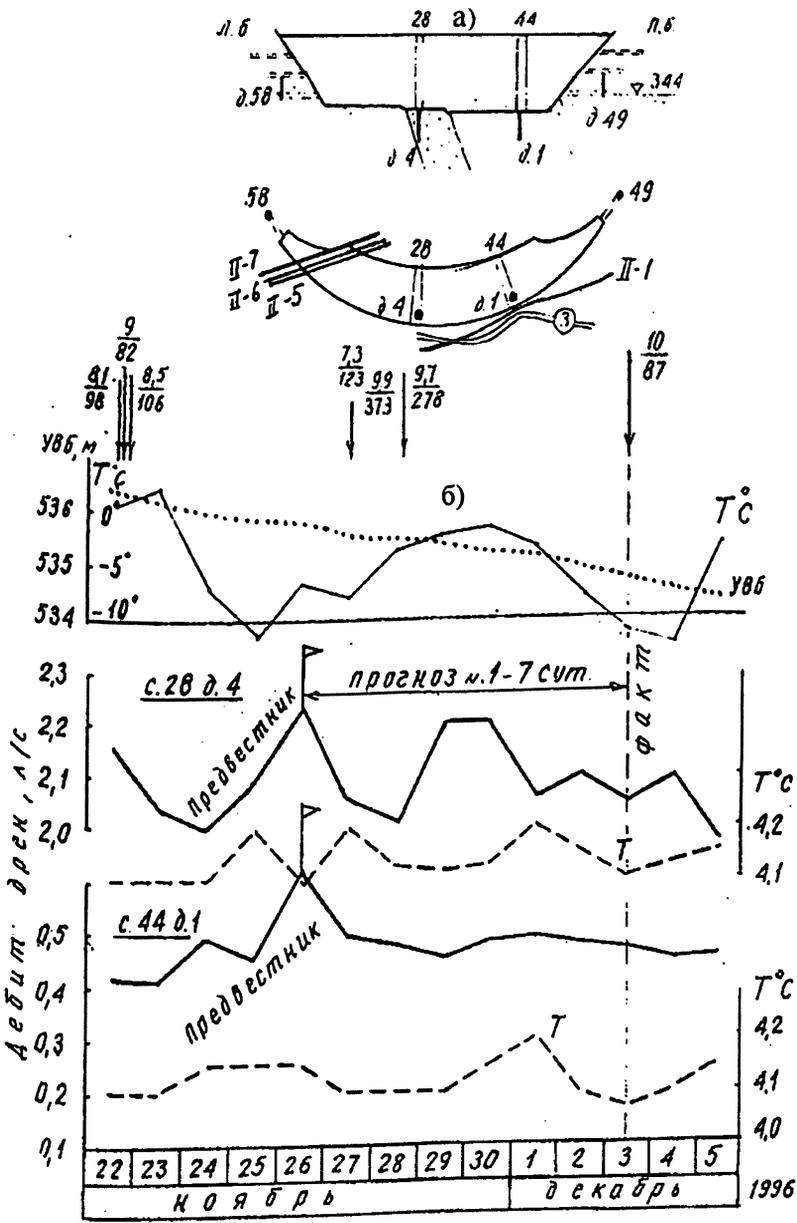


Рис.4. Прогноз землетрясения $K=10$, $R=87$ км по гидрогеодинамическим предвестникам на Саяно-Шушенской ГЭС (б). Схема расположения контрольных дрен (а).

спективном ряде отклика датчика на перенесенные сейсмические события можно изыскать аналог для ориентировочного прогноза, который затем уточняется по датчикам другого типа или по таким же датчикам соседней плотины (Андижанская - Токтогульская - Курпсайская, Чиркейская - Миатлинская, Братская - Усть-Илимская, Саяно-Шушенская - Красноярская и т.п.). По этой технологии нами выполнены 7 прогнозов слабых землетрясений $K=8+11$, один из которых оказался неудачным с ошибкой на 2 суток.

Гидрогеодинамические предвестники в измерительных системах плотин улавливаются на большом расстоянии от ожидаемых эпицентров. Так, в 1995г. в глубоких пьезометрах подтраппового горизонта основания Братской ГЭС 22 июня 1995г. были обнаружены аномальные колебания уровней и концентрации химических веществ, предвещавшие Байкальское землетрясение 29 июня 1995г. интенсивностью 6 баллов в г. Иркутске.

На плотине Саяно-Шушенской ГЭС можно уверенно идентифицировать предвестники от эпицентров на расстоянии до 200км, на Зейской и Чиркейской ГЭС - до 150км. Установлено, что величина и продолжительность предвестникового сигнала в большей степени зависят от магнитуды ожидаемого землетрясения, чем от эпицентрального расстояния. Таким образом, можно считать, что прогноз землетрясений по измерительным системам высоких плотин с крупными водохранилищами имеет большее значение не для самой плотины, обладающей высокой сейсмостойкостью, а для городов и поселков с крупнопанельными зданиями в районе расположения крупных ГЭС.

Выводы:

1. Геодинамические воздействия на большие плотины проявляются в виде возбужденной сейсмичности, крипового давления, дифференцированной работы берегов, пульсаций гидрогеодинамического давления, блоковых движений и геохимической агрессии в основании. Необходимо продолжать изучение этих воздействий для выработки нормативных требований по их учету в проектах.
2. Для повышения безопасности эксплуатируемых высоких плотин с крупными водохранилищами необходимо освоить на таких объектах практические методы оперативного прогноза землетрясений с помощью измерительных систем плотин.
3. В результатах натурных наблюдений необходимо в обязательном порядке выделять влияние геодинамических воздействий

вий, в первую очередь сильных землетрясений, для изучения особенностей их подготовительного периода и накопления банка данных. В этих целях требуется модернизировать системы измерений с переходом от дискретных опросов к непрерывному автоматизированному контролю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений ОИФЗ РАН. 1993.
2. Марчук А.Н. Новые экспериментальные возможности в изучении геодинамики и прогнозировании землетрясений. РАН//Физика Земли. 1994. 12.
3. Калустян Э.С. Риски отказов бетонных плотин. //Безопасность энергетических сооружений, НИИЭС, 1998. вып. 2-3.
4. Марчук А.Н., Мисриханов М.Ш., Абакаров А.Р. и др. О влиянии геодинамики на надежность плотины Чиркейской ГЭС. //Гидротехническое строительство. 1994. 5.
5. Марчук А.Н., Дудченко Л.Н. и др. О состоянии плотины Зейской ГЭС с учетом геодинамического влияния. //Гидротехническое строительство. 1995. 5.
6. Марчук А.Н., Славина Л.Б., Помыткина С.В. Опыт оперативного прогнозирования землетрясений в районе расположения ГЭС Сулакского каскада. //Гидротехническое строительство. 1997г. 9.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕНКИ КАМЕРЫ ШЛЮЗА БАЛАКОВСКОГО РГС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУРФА В ТЫЛОВОЙ ЗОНЕ СООРУЖЕНИЯ

Михайлов О.В., кандидат техн. наук, Ильин Ю.А., Лгалов В.В., Новиков С.П., инженеры (АО НИИЭС), Водолазкин П.В., Жуков Н.И., инженеры (БРГС и С)

Судоходные сооружения Саратовской ГЭС (Балаковский РГС и С) выполнены в виде двухниточного одноступенчатого шлюза с полезной длиной камер 290,0м (левая нитка шлюза имеет номер 25, правая - 26 в системе шлюзов Волжского каскада). Камеры шлюзов имеют доковую конструкцию с неразрезанным днищем толщиной 3,5м и облегченными стенками. Днище и стены выполнены из монолитного бетона. По длине каждая камера разделена температурно-осадочными швами на 10 секций длиной по 29,0м. Каждая секция на середине длины

имеет температурный шов-надрез с вертикальной противо-фильтрационной шпонкой.

В период строительства секция 6 шлюза 26 была оснащена контрольно-измерительной дистанционной аппаратурой, включающей арматурные динамометры на стержневой арматуре лицевой и тыловой гранях секции, а также на арматуре днища шлюза, дистанционные термометры, грунтовые динамометры, бетонные тензометры и др.

Разработкой проекта расстановки дистанционной КИА, установкой ее, снятием показаний приборов и обработкой полученных результатов в период строительства и первых лет эксплуатации сооружения занимался отдел натуральных исследований АО НИИЭС. В настоящее время регулярные наблюдения за состоянием конструкций и механизмов сооружения, обобщаемые в ежегодных отчетах по эксплуатации шлюза, ведет группа натуральных наблюдений шлюза.

Таким образом, в пределах экспериментальной секции 6 шлюза 26, начиная с периода возведения сооружения в 1964г., бетонирования секций (1965-68гг.), намыва грунта в пазухи и межшлюзовое пространство (1968г.) производился большой объем наблюдений за воздействием на элементы конструкций внешних нагрузок. На других секциях шлюза 26 и на шлюзе 25 дистанционная измерительная аппаратура не устанавливалась.

Наблюдение за общими деформациями сооружений обеих ниток осуществляется с помощью геодезических методов. На стенках и парапетах обеих камер установлены высотные марки и створные знаки. Опорные точки размещены на головах шлюза. Наблюдения за осадками по высотным маркам ведутся с 1965г. С помощью створных знаков с 1972г., ведется наблюдение за смещениями верха стен шлюзов. На всех межсекционных швах установлены трехмарочные щелемеры, позволяющие измерить относительные смещения секций в трех направлениях. Наблюдения по щелемерам ведутся также с 1972г. По всей установленной измерительной аппаратуре группой наблюдений шлюза (РГС и С) ведутся регулярные наблюдения.

Как показывают створные наблюдения за смещением верха стенок за период эксплуатации, практически все стенки камер обоих шлюзов имеют в большей или меньшей степени тенденцию наклона в сторону оси камер. При этом к 1990г. смещение верха стенок шлюза 26 составили величину для левой стенки (5,5±11,5)мм, а для правой (8,2±18,5)мм в сторону оси камеры.

Смещение стенок секции 6, оснащенной измерительными дистанционными приборами, составили, соответственно, 5,5 и 12,5мм.

Смещение верха стенок шлюза 25, арматура которого не была оснащена дистанционной КИА, приблизилось, а для некоторых стенок даже превысило предельную величину смещения верха стенок 20мм, заданную проектом. Так, на правой стенке шлюза 25 максимальное смещение верха стенки секции 9 составило (17,5+18,5)мм, а секции 8 - (20,0+21,0)мм. В остальных секциях эта величина для правой стенки составила (5,0+11,0)мм. В левой стенке шлюза 25 перемещения секций 2, 3, 7 и 9 приближаются к проектной величине отклонения (16+19)мм, отклонения секций 4, 5, 6 и 8 превысили эту величину на 15+30%.

В связи с этим были проведены исследования на лицевой грани секций шлюза 25, имеющих отклонение верха, превышающее допустимую проектом величину. Для этого методом «обратной разгрузки» были определены действующие в арматуре лицевой грани напряжения в секциях 5 и 8 по правой стенке и в секциях 5 и 7 по левой стенке. В наиболее полном объеме исследования были выполнены на левой стенке шлюза в секции 5, имевшей наибольшее на тот период отклонение верха. Напряжения в арматуре определялись в 11 точках по высоте стенки: на отметке 23,0м до верха вута на отметке 10,5м. Измерениями установлено, что в верхней части стенки на отметке 23,0м арматура находится в растянутом состоянии с уровнем растягивающих напряжений (88+96)МПа, что составляет около 0,35Rs, где Rs=280МПа - величина расчетного сопротивления арматуры класса А-II. По мере понижения отметок происходит снижение растягивающих напряжений, а на отметке 16,0м напряжения сжатия достигают величины 70,0МПа, т.е. 0,25Rs. В левой стенке секции 7 (отклонение 18,0мм) на отметке 21,5м растягивающие напряжения составили 50,0МПа, т.е. 0,18Rs, а в секции 9 (отклонение 15,0мм) напряжения сжатия составили 60,0МПа, т.е. 0,2Rs.

В правой стенке шлюза 25 на отметке 10,5м получены следующие величины сжимающих напряжений: в секции 5 (отклонение в камеру 5мм) - 84МПа или 0,3Rs, в секции 8 (отклонение в камеру 21мм) - 126МПа. Полученные результаты показали, что арматура лицевой грани стенок далека от достижения расчетного сопротивления и е величина не превосходит (0,4+ 0,5)Rs.

Поскольку в железобетонных конструкциях напряженно-деформированное состояние всей конструкции зависит не только от арматуры, но и от бетона, были проведены исследо-

вания по определению напряженного состояния бетона сжатой зоны стенок камеры шлюза 25. Для этого в секциях 5 и 8 по правой стенке, а также в секциях 5, 7 и 9 по левой стенке методом «обратной разгрузки» были определены деформации, а по ним - напряжения в бетоне лицевой грани.

Разгрузка исследуемого участка конструкции осуществлялась путем выбуривания кольцевой канавки на глубину не менее $3/4$ диаметра кольца (образца) и снятия отсчетов по установленным приборам до и после выбуривания.

Помимо полных деформаций бетона лицевой грани секций определялись прочностные характеристики при испытании выбуренных кернов и определения предела прочности на сжатие и растяжение (при раскалывании). Испытания показали, что бетон обследованных секций имеет небольшой разброс по прочности на сжатие и колеблется от класса В17,5 (М225; $R_b=20,2$ МПа; $E_b=2,5 \times 10^5$ МПа) до класса В25 (М300; $R_b=33,5$ МПа; $E_b=3,0 \times 10^5$ МПа).

В результате сопоставления полученных деформаций бетона и отклонений секций в сторону оси камеры выявлено, что при перемещении верха секции на величину 20 мм сжатый бетон лицевой грани достигает $\sigma=15,0$ МПа.

На основании натурных исследований ряда секций шлюза 25 и проведения сопоставительных расчетно-теоретических исследований с учетом результатов измерений по дистанционной аппаратуре в экспериментальной секции 6 шлюза 26 были сделаны предположения, что основной причиной роста перемещений левой стенки шлюза 25 может являться образование по высоте стенки от одной до трех трещин на отметках 18,3 м; 12,0 м и 8,25 м. Причины их образования могут определяться фактором увеличения давления грунта со стороны тыловой грани в результате длительно протекающих процессов уплотнения грунта. Такое предположение было сделано на основании исследований статической работы камеры шлюза в период временной эксплуатации, проводившихся в АО НИИЭС в 1971 г. Многочисленными исследованиями доказано, что на давление грунта на стенку влияют следующие факторы: прочностные и деформативные свойства грунта, его плотность, неоднородность, схема возведения засыпки, способы ее уплотнения, характер перемещения ограждающей конструкции. Отмечается, что давление грунта при этом может изменяться в 1,5-2 раза даже при постоянных значениях физико-механических и прочностных свойств грунта.

Учитывая опасное состояние левой стенки, был сделан вывод о необходимости усиления левой стенки шлюза 25, особенно в зоне секций 4-9, и правой стенки в зоне секций 8-9.

До составления проекта усиления необходимо было определить фактические параметры, характеризующие действительное состояние грунтов засыпки, бетона тыловой грани стенки и арматуры и на основании этого оценить действительное состояние и работоспособность рассматриваемых конструкций.

Кроме зондирования грунтов засыпки в зоне секций 4-6 было предложено провести обследование состояния конструкций тыловой грани левой стенки шлюза, для чего составить проект и приступить к постройке шурфа на тыловой грани стенки.

В результате рассмотрения выводов и рекомендаций АО НИИЭС, а также экспертных заключений ЛИВТ на совещаниях с участием представителей ГП «Водные пути Волжского бассейна» (ГП ВПВБ) и привлечением специалистов АО НИИЭС, ЛИВТ, института «Самарагидропроект», Гидроспецстроя было признано целесообразным провести обследование тыловой грани стенки шлюза с устройством шурфа на тыловой грани одной из секций, имеющих величину смещения, превышающую проектное значение. К моменту принятия окончательного решения по строительству шурфа в месте его расположения величина перемещений верха стенки секции 6 приняла максимальное значение, опередив перемещения стенки секции 5. Поэтому было принято следующее окончательное решение: шурф выполнить в обратной засыпке секции 6 шлюза 25 в соответствии с проектом, разработанным АО «Проектно-изыскательский институт Самарагидропроект».

Поскольку любое конструктивное решение шурфа приводит к изменению первоначального напряженного состояния рассматриваемой конструкции из-за изменения нагрузок, шурф был выполнен с минимальными габаритными размерами: на отметке 28,0м его габариты в свету составили 4,10х6,0м, а на отметке 6,20м - 4,10х2,90м. Глубина шурфа - 21,80м. Минимальные габариты были выбраны исходя из возможности устройства лестничного спуска, возможности осмотра конструкций и установки контрольно-измерительной аппаратуры. Для ограждения полости шурфа были установлены 17 вертикальных опор из двутавра 30 длиной от 11,5м до 25,0м. Пространство между вертикальными опорами заполнялось деревянными брусками сечением 15х20см. Устойчивость конструкции обеспечивалась опиранием на горизонтальные опоры коробчатого

сечения из швеллера 30, имевшие полигональное очертание в плане и заанкеренные в бетон стенки шлюза. Грунт в шурфе был разработан до отметки 5,5м и забетонирован по слою щебня до отметки 6,20м, с устройством отверстий для отвода профильтровавшейся воды. Шурф был оборудован двумя площадками (на отметках 22,0м и 14,0м) для осмотра конструкций, системой приточной вентиляции и электроснабжением на период строительства и эксплуатации.

Работы по сооружению шурфа были начаты в марте 1995г., а с декабря того же года начала функционировать система водопонижения, действовавшая до начала декабря 1997г. В июле 1998г. эксплуатация шурфа была закончена, и он был полностью засыпан грунтом.

Началу работ по строительству шурфа предшествовали работы по организации сопоставительных контрольных наблюдений за тремя рядом стоящими секциями 4, 5 и 6, проявлявшими наибольшие перемещения в сторону камеры, величина которых значительно превышала величину перемещения, регламентированную проектом. Учитывая, что при строительстве шурфа необходимо было снизить уровень грунтовых вод, возможно было ожидать изменения напряженно-деформированного состояния тыловой и лицевой граней, особенно на нижних отметках стенки. Поэтому предложено было контролировать изменения первоначального напряженного состояния 6-ой секции по ее лицевой поверхности, для чего было установлено дополнительное количество арматурных динамометров в соответствии с принятой схемой расположения приборов.

Для контроля было принято решение использовать эталонную секцию 4, в которой наблюдается аналогичное напряженное состояние и в тоже время не должно было сказываться влияние строительных работ на секции 6. Поэтому и в этой секции на лицевой поверхности были установлены арматурные динамометры на тех же отметках, что и в секциях 5 и 6. Сопоставление показаний приборов четвертой, шестой, а также пятой секции, где приборы были установлены ранее, дали возможность проконтролировать влияние строительных работ по шурфу на состояние шестой секции в период всего времени строительства и эксплуатации шурфа, а также наблюдать за секциями в дальнейшем. Таким образом, дистанционной аппаратурой на лицевой грани были оснащены секции 4, 5 и 6. Работы по установке измерительной аппаратуры производились при осушенной камере при температуре наружного воздуха 24-

28 °С. Анализируя напряжения в арматуре лицевой грани, можно отметить, что в секциях 4 и 5 вся зона стенки от отметки 10,5м (верх вута) до отметки 18,3м (верхний строительный шов) находится в сжатом состоянии. Максимальная величина сжатия в секции 4 зафиксирована равной 78,0МПа на отметке 15,7м, а в секции 5 максимальная величина сжатия зафиксирована равной 120,0МПа на отметке 12,0м. На отметке 23,2м в секциях 4 и 5 зафиксирована зона растягивающих напряжений, величина которых составила (30+60)МПа. В лицевой грани секции 6 величина полученных действующих напряжений составила 120,0МПа, зона растяжений на верхних отметках отсутствует, а величина сжатия на отметке 23,2м составила (12+20)МПа. В целом, на лицевой поверхности секции 6 в процессе строительства шурфа и его эксплуатации наблюдался прирост напряжений в пределах 10-30%.

Наблюдения за смещением верха левой стенки шлюза показали следующую картину. В январе 1994г. смещение секции 6 составляло 30,5мм, секций 5 и 4 (эталонной), соответственно, 31,0 и 29,5мм. Осушение камеры в сентябре 1994г. вызвало смещение верха стенок секций 4, 5 и 6 в сторону засыпки на 25,1мм, 26,3мм и 27,1мм, соответственно.

К моменту отключения насосов водопонижения в декабре 1997г. отклонение верха секции 6 составило 22,0мм, секции 5 - 23,0мм. С завершением засыпки шурфа грунтом (июнь 1998г.) зафиксирована минимальная величина смещения секции 6 в сторону засыпки, равная 18,1мм; смещение секции 4 в этот момент равнялось 26,4мм. К ноябрю 1998г. отклонение верха секции 6 достигло 23,7мм, а секции 4 - 30,3мм. Наблюдения показывают, что вследствие большой инерционности железобетонных конструкций происходит достаточно медленное изменение их смещений.

На рис.1 показано расположение шурфа в пазухе секции 6, а на рис.2 представлен общий вид верхней части шурфа.

При визуальном обследовании тыловой грани с отметки 29,08м до отметки 6,20м было установлено следующее:

1. Грунт обратной засыпки представляет собой мелкозернистый, достаточно однородный намывной песок.

2. Тыловая грань секции 6 в зоне отм.8,25м - 6,20м выполнена не по проекту, обратный уклон стенки с отметки 7,1м до отметки 5,1м отсутствует.

3. С отметки 14,5м до отметки 7,0м по тыловой грани выполнена гидроизоляция из двух слоев стеклоткани по битум-

ной мастике. По проекту гидроизоляция предусмотрена с отметки 18,3м.

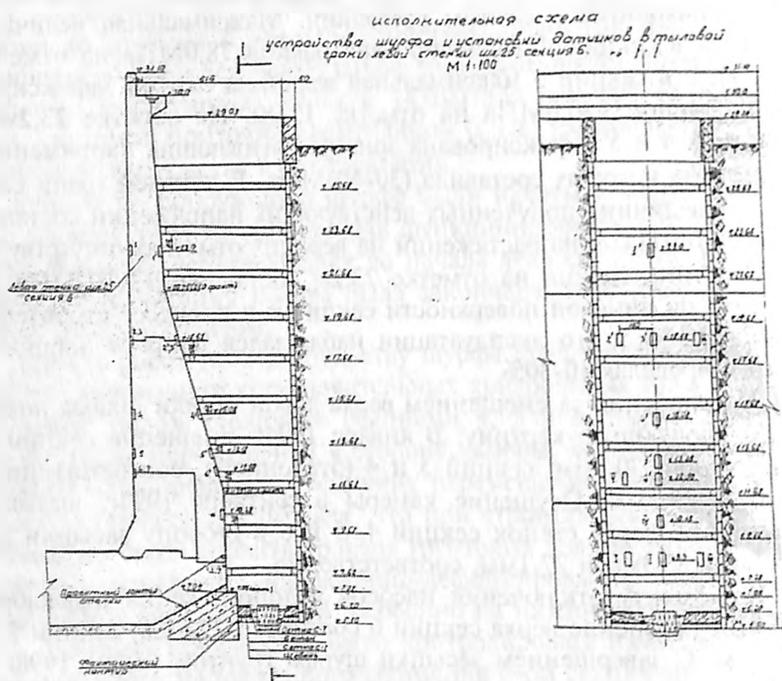


Рис.1. Расположение шурфа в пазухе левой стенки шлюза и места установки измерительных приборов на арматуре лицевой и тыловой гранях секции.

4. На отметке 18,2м (шов бетонирования) обнаружена горизонтальная трещина с ярковыраженным выщелачиванием бетона.

5. При визуальном осмотре поверхности бетона на отметке 25м, в месте расположения строительного шва, трещин не обнаружено.

6. Обнаружена очаговая фильтрация воды из бетона на отм. 7,1м с расходом воды 12л/мин.

В построенном шурфе были определены напряжения в арматуре тыловой грани на различных отметках по высоте стенки. После проведения измерения действующих напряжений в этих точках были установлены дистанционные приборы для проведения долговременных наблюдений. Всего было установлено 12 арматурных динамометров (ПСАС-40), причем по три

прибора было установлено на блочных швах на отметке 18,3 м и 8,3 м. По всей высоте тыловой грани стенки зафиксированы растягивающие напряжения, максимумы которых приходятся на зоны блочных швов. Напряжения в блочном шве на отм. 18,3 м составили 71 МПа (0,25Rs), а в блочном шве на отметке 8,3 м их величина достигла 122,9 МПа (0,44Rs). Величина зафиксированных напряжений указывает на наличие трещин по швам, что впоследствии было подтверждено расчетными исследованиями. В остальных точках измерения напряжения не превосходят 0,18Rs. Напряжения в арматуре тыловой грани, измеренные в феврале 1998 г. (в декабре 1997 г. остановлены насосы водоотлива), на 10-20% ниже, чем те же величины, измеренные в декабре этого же года. Колебания напряжений зима-лето не превосходят 10%.

Были проведены исследования прочности бетона на тыловой грани неразрушающими методами по ГОСТ 22690-77.

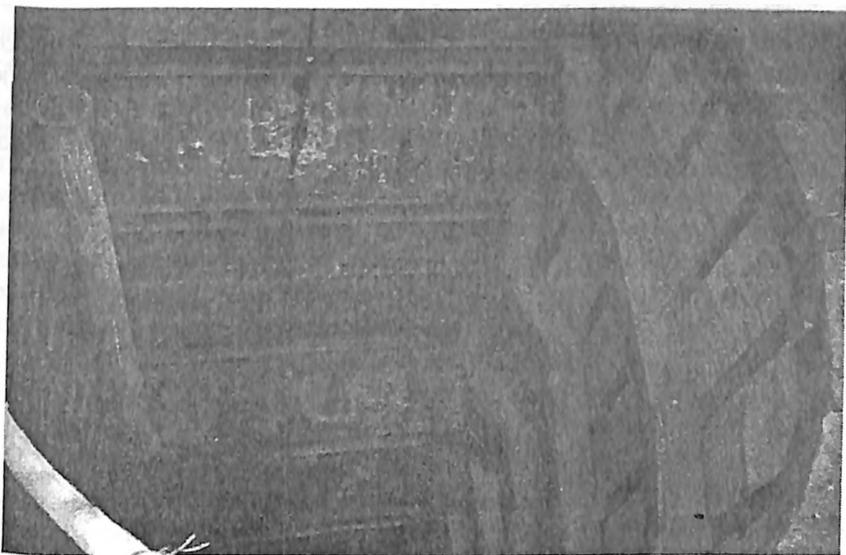


Рис.2. Исследование напряженного состояния 6-й секции левой стенки камеры шлюза 25 Балаковского РГС с использованием шурфа в тыловой зоне (АО НИИЭС, 1996-1998 гг.)

Прочность бетона в зоне отметки 13,0 м получена равной 16,0 МПа (класс бетона В12,5), ниже этой отметки (отметке 8,5 ± 10,7 м), прочность бетона составляла 23-25 МПа (класс бетона В20), выше этой отметки (отметках 15,1 ± 23,0 м), - 25-28 МПа (класс бетона В20-20,5).

Выводы:

1. Изучение напряженно-деформированного состояния секций шлюза 26, имеющих отклонение верха свыше 20мм, с использованием метода «обратной разгрузки» для арматуры и бетона лицевой грани установило, что арматура работает с запасом прочности на сжатие и напряжения в ней не превышают 0,5Rs. Бетон лицевой поверхности достиг величины сжимающих напряжений равной 15МПа.

2. Строительство шурфа на тыловой грани секции 6 позволило провести оценку состояния тыловой грани секции, привести определение фактически действующих напряжений в арматуре и сопоставить их с результатами расчетно-теоретических исследований.

3. Исследования на тыловой грани секции 6 подтвердили сделанное при расчетно-теоретических исследованиях допущение о наличии трещин на тыловой растянутой грани секции в зоне отметок 18,3м и 8,25м.

4. Результаты исследования тыловой грани секции 6 позволили уточнить расчетные характеристики и создать достоверную расчетную модель напряженно-деформированного состояния стенки секции 6 камеры шлюза 25 и уточнить допустимые перемещения верха стенок камеры шлюза в сторону увеличения.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННОЙ СТЕНЫ В ГРУНТЕ ОСНОВАНИЯ ПЛОТИНЫ И ЕЕ НАДЕЖНОСТИ

Рассказов Л.Н., доктор техн. наук, Бестужева А.С., кандидат техн. наук, Саинов М.П., инженер (МГСУ)

В последние годы появилось много нового производственного оборудования для строительства «стены в грунте», например, фирм «Казангранде», «Бауэр» и «Солетанш». В связи с этим эта конструкция стала сравнительно часто использоваться в гидротехническом строительстве, в частности для создания противофильтрационного устройства в основании плотины. Примером могут служить Ирганайская плотина в России, плотина на р. Кархе в ИРИ, плотина Сялонди в КНР и др. Используется метод «стена в грунте» и для ремонта противофильтрационных устройств в каменно-земляных плотинах (плотина Курейской ГЭС в России). При этом конструкции

этих устройств могут быть самыми разнообразными (к примеру, система «секущихся» буробетонных свай [1]).

Эти противофильтрационные конструкции должны выдерживать большие напоры, от их надежности зависит целостность сооружений гидроузла, а, следовательно, и жизнь многих людей. Это диктует необходимость качественного и своевременного контроля за состоянием «стены в грунте». Для этого, а также для проведения, в случае необходимости, ремонтно-восстановительных работ в основании плотины необходимо предусмотреть устройство потерны. В то же время в ряде проектов зарубежных фирм потерна в основании плотины отсутствует. Контроль за основанием конструкции можно вести, разместив КИА в непосредственной близости от стены со стороны нижнего бьефа (хотя это менее наджно, чем наблюдение по пьезометрам). Однако выполнение ремонтно-восстановительных работ с гребня плотины при большой е высоте и наличии каменной наброски в призмах (для наклонного ядра) очень затруднительно. Вс это требует устройства потерны в основании плотины.

Целью работы было исследование напряженно-деформированного состояния «стены в грунте» и в особенности той е части, которая сопрягается с материалом ядра (экрана). В работе были рассмотрены два варианта сопряжения стены в грунте с материалом противофильтрационного элемента: первый - «стена в грунте» заходит в материал ядра на 7м (потерна отсутствует); второй - предусматривается сопрягающая потерна, основание которой связано со стеной в грунте.

В качестве расчетной модели была выбрана каменно-земляная плотина высотой 150м (рис.1).

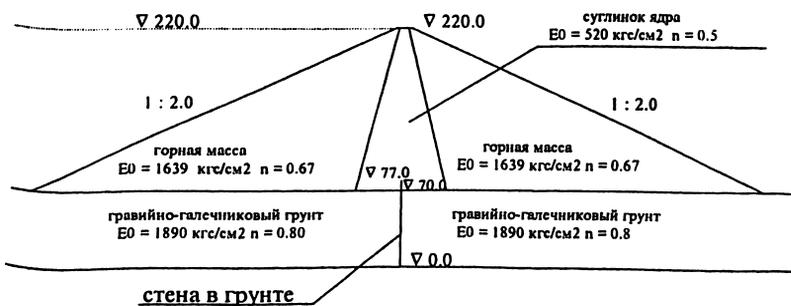


Рис.1. Схема плотины.

Упорные призмы плотины выполнены из горной массы, заложение откосов - 1:2. Противофильтрационным элементом служит центральное суглинистое ядро. В основании плотины залегает гравийно-галечниковый грунт, мощность слоя которого составляет 70 м. Его полностью пересекает бетонная стена толщиной 1,0м. Стена сопрягается с ядром семиметровой консолью. Соответственно, общая высота стены составляет 77м. Учитываемая в расчете высота конструкции составляет 220м. Была рассмотрена задача плоской деформации.

Для решения поставленной задачи использовалась энергетическая модель грунта [2], реализованная методом конечных элементов в сочетании с итерационным методом поиска действительных перемещений. Энергетическая модель грунта позволяет учитывать упругие, пластические, а также реологические свойства грунта. Свойства бетона были приняты упругими. Его модуль линейной деформации был принят равным $E=200000\text{кгс/см}^2$, коэффициент Пуассона $\mu=0,2$.

Расчет НДС плотины был произведен для уровня воды в водохранилище на отметке 220м (за начало отсчета принята нижняя граница сжимаемого слоя основания). Уровень воды в нижнем бьефе был принят на отметке 70м, таким образом напор на плотину составил 150м.

На рис.1 показан профиль плотин, принятые в расчете модули объемной деформации грунтов E_0 при $\sigma=1\text{кг/см}^2$ и показатели степени n , во многом определяющие деформируемость грунтов.

Анализ полученных результатов решения по первому варианту показывает, что бетонная стена в однородном грунте, несмотря на свою жесткость, не оказывает существенного влияния на перемещения напорной грани под гидростатической нагрузкой. Она следует за деформациями залегающего за ней грунта, т.е. перемещения стены в основном определяются податливостью этого грунта. Стена большей частью перераспределяет нагрузку по высоте и передает ее на грунт, чем оказывает ей сопротивление.

Но, несмотря на сильные изгибные деформации почти по всей своей высоте, стена сжата под действием собственного веса и веса вышележащего грунта плотины. По вертикальной средней линии стены сжимающие напряжения σ_{yy} меняются от 35кгс/см^2 вверху (отметка 77,0) до 50кгс/см^2 в основании (рис.2а). На напорной грани напряжения выше, чем напряжения на низовой грани вследствие изгиба. На отметке 47,5м эта

разница составляет 60 кгс/см^2 . По горизонтальным сечениям напряжения распределяются почти линейно.

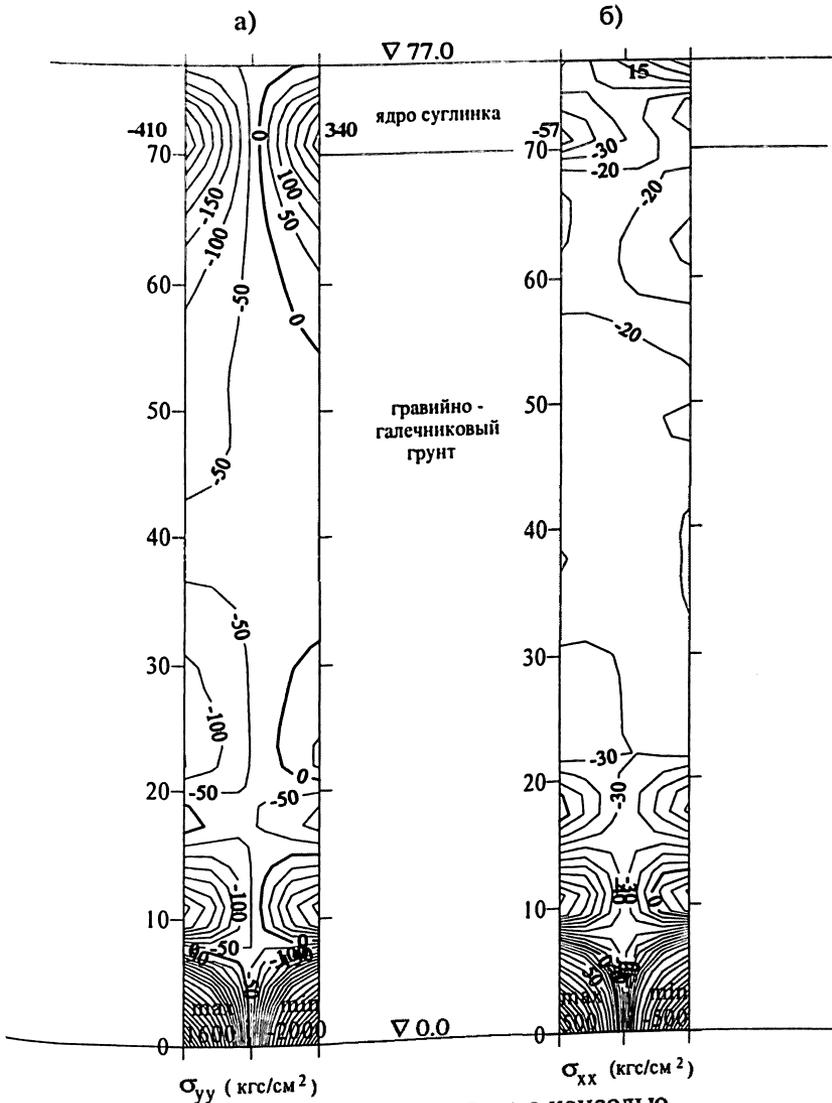


Рис.2. Напряжения в стене с консолью.

Призменная прочность на сжатие бетона тонкостенной конструкции с таким модулем (примерно класс В12,5) составляет $76,5 \text{ кгс/см}^2$ [3]. То есть прочности большей части стены при таком модуле деформируемости обеспечена. Это подтверждает доказанную практикой надежность конструкции стены в

грунте. В то же время такой бетон способен выдерживать значительно меньшие растягивающие напряжения - $6 \div 7 \text{ кгс/см}^2$ для неармированных конструкций. Поэтому наибольшие опасения вызывают те области стены в грунте, в которых возникают растягивающие напряжения. Значительные зоны растяжений располагаются в нижней части стены (сопряжение со скальным основанием) и в консольной части (сопряжение с ядром).

Образование первой зоны обусловлено принятой в расчете схемой граничных условий - стена закреплена в основании и не имеет возможности перемещаться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Вблизи закрепления стена испытывает сильный изгиб. Образуется две зоны растяжения. В одной растянута верховая грань, а низовая - сжата. Максимальные растягивающие напряжения в ней составили более 1600 кгс/см^2 , а сжимающие - 2000 кгс/см^2 . Во второй зоне (отметка 10,0) растянута низовая грань (350 кгс/см^2), а верховая - сжата. В реальности из-за сложности производства качественных работ стена будет находиться в более свободных условиях, поэтому НДС стены близ подошвы будет более благоприятным. Если же стена будет все-таки заделана в основание, то впоследствии она из-за значительных растяжений будет от него оторвана. Но это не будет опасно с точки зрения сохранения непроницаемости основания, так как фильтрация через образовавшуюся трещину будет незначительной из-за длинного пути фильтрации. Она не будет угрожать целостности сооружения. Напряженно-деформированное состояние самой стены после образования трещины лишь улучшится.

Значительно более опасным является образование зоны растяжения в семиметровой консольной части стены. Расчеты показали, что верх стены переместится относительно точки пересечения с границей плотины и основания на 6,5 см в сторону верхнего бьефа. То, что консоль перемещается в сторону верхнего бьефа, объясняется влиянием двух следующих факторов. Во-первых, перемещениям именно консольной части сопротивляется большая по размерам область насыщенного грунта, находящаяся за стеной. Но более важен второй фактор. В отличие от стены в основании, которая находится под уровнем нижнего бьефа и воспринимает по всей своей высоте одинаковый напор (150 м), эпюра суммарного гидростатического давления на консоль практически треугольная по форме: на верху консоли за счет обтекания ее фильтрационным потоком давле-

ние меньше, чем в е основании. Такая форма нагрузки и приводит к большим перемещениям основания консоли по сравнению с е верхом.

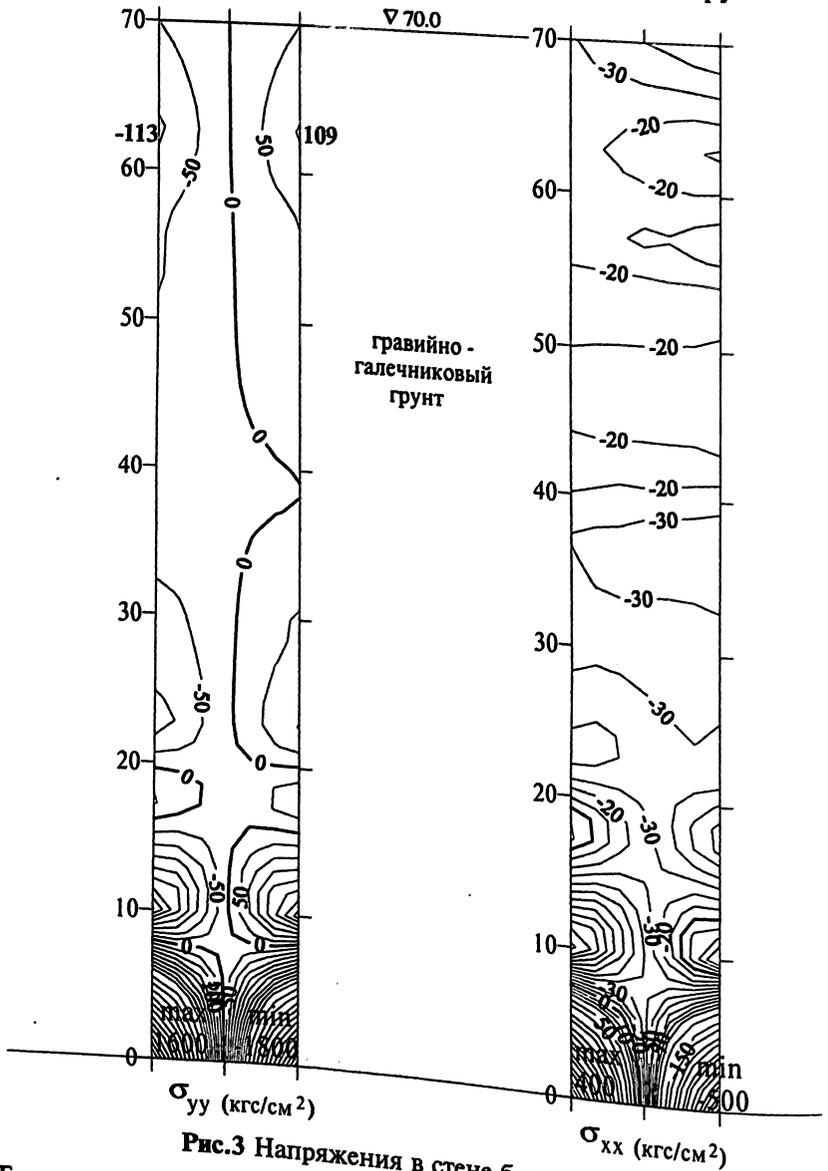
В свою очередь такое перемещение консоли приводит к тому, что растянутой оказывается е низовая грань. Максимальное вертикальное растягивающее напряжение σ_{yy} наблюдается на отметке 71м в месте сопряжения грунтов разной деформируемости и составляет 340кгс/см² (рис.2). Но растянутой оказывается не только вся низовая грань консоли, зона растяжения распространяется также на глубину 15м в основание. Величины растягивающих напряжений значительно превышают прочность бетона на растяжение, что неизбежно приведет к образованию трещин в семиметровой консоли. Е армирование не сможет предотвратить их образование. А учитывая то, что на верховой грани сжимающие напряжения превышают прочность бетона на сжатие, можно заключить, что аварийная ситуация выхода из строя противодиффузионного устройства возможна. В этом случае произойдет опасный для плотины вымыв частиц из глинистого ядра. В целях избежания такой ситуации в месте сопряжения стены с ядром плотины нужно устраивать потерну.

По напряжениям σ_{xx} бетонная стена сжата почти по всей своей высоте гидростатическим давлением. И напряжения эти изменяются по вертикальной средней линии от 15кг/см² до 37кг/см² (рис.2б). Зоны растяжения по σ_{xx} образуются лишь вблизи закрепления и их появление связано с растяжениями по σ_{yy} . В консоли напряжения σ_{xx} - сжимающие. По величине они меньше напряжений σ_{yy} (410кгс/см²) и достигают 57кгс/см².

Итак, в оголовке «стены в грунте» имеют место достаточно большие сжимающие напряжения, соизмеримые с призменной прочностью бетона на сжатие или превосходящие е, а растягивающие напряжения значительно превышают прочность бетона на растяжение. То есть в этой части стены напряженно-деформированное состояние неблагоприятное.

Во втором варианте расчетов был исследован вопрос о напряженно-деформированном состоянии стены без консоли, когда стена сопрягается с ядром при помощи потерны. Результаты данного расчета НДС представлены на рис.3. На нем видно, что за счет отсутствия консоли разница напряжений σ_{yy} между верховой и низовой гранями в верхней части стены уменьшилась с 750кгс/см² до 220кгс/см². Однако площадь зон растяжения увеличилась за счет

того, что при создании потерны стена не испытывает вертикального сжимающего воздействия вышележащего грунта.



Тем не менее, вариант стены с потерной более предпочтителен, так как абсолютные значения напряжений значительно

меньше. Если в варианте с консолью максимальные растягивающие напряжения σ_{yy} достигали 340 кгс/см^2 , то при потере - 109 кгс/см^2 . Соответственно наибольшие сжимающие напряжения уменьшились с 410 кгс/см^2 до 113 кгс/см^2 . Таким образом, создание потерны не позволяет избежать растягивающих напряжений в верхней части стены, но уменьшает их величины. С точки зрения армирования стены вариант без консоли более предпочтителен. Армирование низовой грани стены позволит обеспечить необходимую надежность стены в грунте.

Таким образом, устройство потерны необходимо не только для удобства проведения ремонтных работ, о чем было сказано выше, но и создание может позволить перераспределить напряжения в «оголовке» стены более благоприятно.

Выводы:

1. Противофильтрационное устройство типа «стена в грунте» в проницаемом основании даже при достаточно большой мощности перерезаемых ею однородных грунтов является достаточно надежной конструкцией. Неблагоприятных ситуаций можно ожидать лишь в местах сопряжения грунтов разной деформируемости, где возможно образование зон значительных растягивающих и сжимающих напряжений.

2. Создание консолей значительной высоты при сопряжении стены в грунте основания с противофильтрационным устройством плотины представляет значительную опасность для надежности этого узла сопряжения и плотины в целом.

3. Наличие потерны позволит контролировать работы противофильтрационной конструкции и ремонтировать ее. Кроме того, наличие потерны улучшает НДС стены и повышает ее надежность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малышев Л.И., Рассказов Л.Н., Солдатов П.В. Состояние плотины Курейской ГЭС и технические решения по ее ремонту // Гидротехническое строительство. 1999. 1
2. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин. М.: Энергоатомиздат. 1987.
3. СНиП 2.06.08-87. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. М.: Госстрой СССР. 1988.

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДКРАНОВОЙ ЭСТАКАДЫ И АГРЕГАТНОГО БЛОКА МАШЗАЛА ГЭС ТЕРИ (ИНДИЯ)

*Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., кандидаты техн. наук (АО НИИЭС),
Финк А.К., Горбунов В.М., инженеры (АО «Институт Гидропроект»)*

Для обеспечения безопасной эксплуатации сооружения подземного машинного зала ГЭС Тери в АО НИИЭС совместно с АО «Институт Гидропроект» в 1998-1999гг. проводились исследования наиболее ответственных железобетонных конструкций.

К ним относятся подкрановая эстакада машзала, элементы которой работают в тяжелых условиях нагружения и опирания, и напорная конструкция агрегатного блока со стальной спиральной камерой.

Расчетным элементом подкрановой эстакады является железобетонная жесткая рама, состоящая из массивной балки и колонн, заделанных в стены на отметке пола машзала (отметка 605,0м). Длина одной секции балки составляет 60м. Половина поперечного сечения балки опирается на полку скального массива шириной 1м, частично нарушенную и обетонированную и имеющую невысокие показатели прочности.

По верху балки идут колонны верхнего перекрытия машзала, расположенного на отметке 621,0м.

Размеры поперечного сечения подкрановых балок составляют: высота - 2,0м (в вутах -2,30м), ширина - 2,0м. Отметка верха балок - 614,5м, отметка низа - 612,5м.

Сечение колонн эстакады 1,5x1,0м. Высота колонн 7,5м. Балки с внутренней стороны зала внецентренно опираются на колонны. Наибольшие пролеты балок достигают в свету 9,56м. Конструкция эстакады представлена на рис.1.

При бетонировании секции балки в нескольких местах по ее длине были выполнены вертикальные строительные швы (с интервалом около 20м) в пролете непосредственно у опоры (в сопряжении балки с колонной), значительно ослабившие конструкцию.

Значительные крановые нагрузки приложены с эксцентриситетом относительно оси сечения балки, что приводит к пространственной работе конструкции и неравномерному распределению усилий и напряжений в бетоне и арматуре.

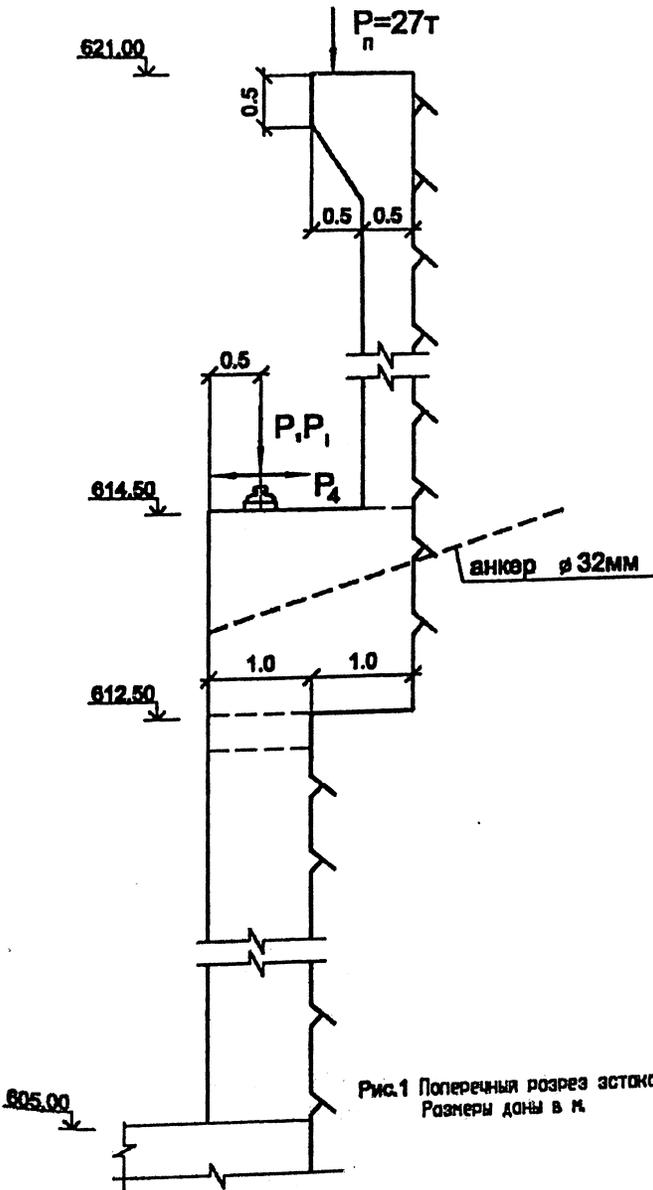


Рис.1 Поперечный разрез астакады по оси колонн.
 Размеры даны в м.

При монтаже и эксплуатации агрегатов предусматривается режим совместной работы двух кранов грузоподъемностью 375т каждый, в том числе в условиях сейсмических воздействий.

В ходе расчетных исследований были рассмотрены неблагоприятные условия работы подкрановой эстакады при невыгодном нагружении для двух наиболее опасных участков: один имел наибольший пролет (9,56м), а другой включал два смежных пролета протяженностью 7,46м и 7,60м. При расчете прочности исходили из предположения размещения вышеупомянутых строительных швов в пределах выделенных фрагментов эстакады (фрагменты 1 и 2 соответственно).

Принятая в расчетах схема армирования подкрановых балок представлена на рис.2.

Продольное армирование было выполнено из арматуры $\varnothing 32$ мм класса А-III (20 стержней у верхней грани, 24 стержня у нижней грани и дополнительно у боковых граней по 6 стержней).

Ряды поперечной арматуры расположены с переменным шагом 15см и 20см. В каждом таком ряду было установлено по 8 стержней ($2\varnothing 16$ мм и $6\varnothing 12$ мм). При этом 5 стержней размещены в пределах внутренней половины сечения балки, лежащей на колонне, а 3 стержня в пределах их внешней половины (на скальной полке).

Основной расчетный случай сочетания нагрузок на балку принят при действии вертикальных колесных нагрузок величиной 61,3т и 64т при спаренной работе двух кранов.

При особом сочетании нагрузок (с учетом сейсмичности 9 баллов) нагрузки на крановый рельс повышались до значений 91,1т и 95,4т соответственно.

Также учитывался вес конструкции, продольные и поперечные усилия от торможения и вертикальные нагрузки 27т, передающиеся на подкрановые балки от колонн верхнего строения.

Так как вероятность совпадения по времени момента совместной работы двух кранов и сейсмического воздействия крайне мала, то основные расчеты прочности проводились при основном сочетании нагрузок, а при особом сочетании (с учетом сейсмичности) делалась проверка прочности для стадии разрушения конструкций (по физическим величинам разрушения материалов).

Расчеты прочности элементов железобетонной подкрановой эстакады были проведены в соответствии с нормативными документами, действующими на территории России.

При этом были выполнены: расчеты по прочности сечений, нормальных к продольной оси подкрановых балок; расчеты по

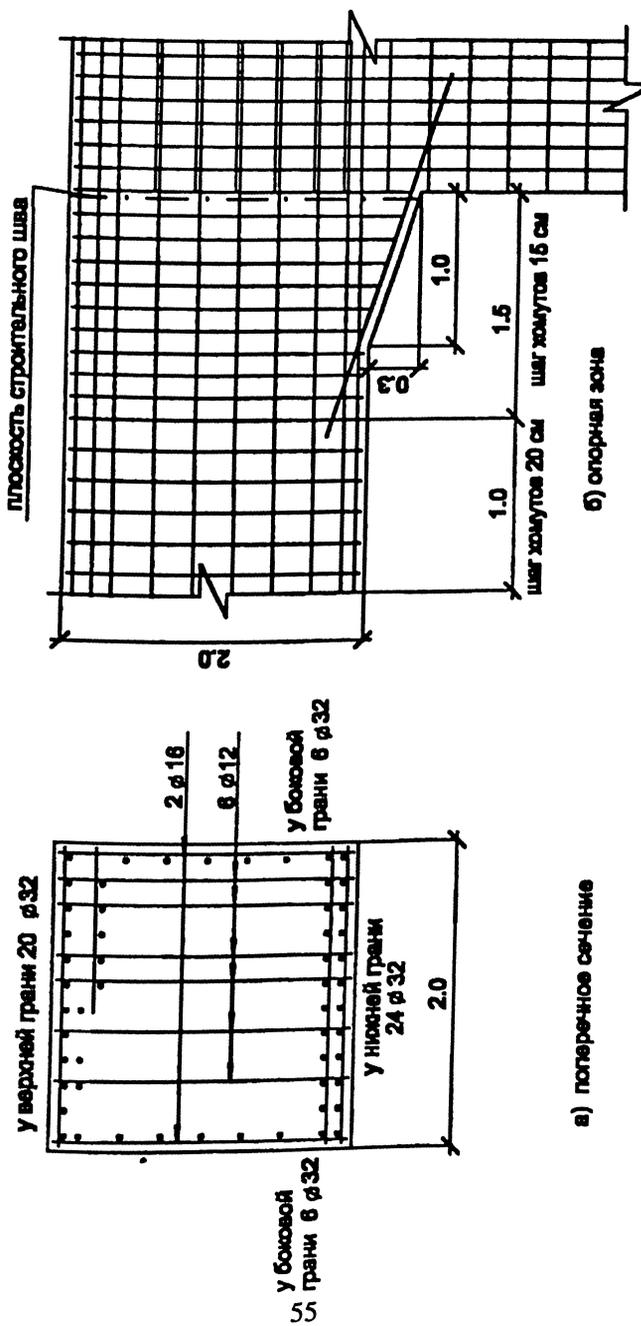


Рис.2. Схемы продольного и поперечного армирования подкрановой балки:

а - в поперечном сечении балки, б - в зоне опирания на колонну (продольный разрез). Размеры даны в м.

прочности сечений, наклонных к продольной оси; расчеты по прочности пространственных сечений (элементов, работающих на кручение с изгибом).

Специальные расчеты были проведены в зонах, ослабленных строительными швами. При этом в расчетах прочности швов, работающих в условиях неоднородного пространственного напряженного состояния с учетом нагельной работы продольной арматуры, пересекающей швы, применялись методики АО НИИЭС, реализованные в «Рекомендациях» по расчету и в проектах обновленных нормативных документов.

Для определения напряжений и усилий было использовано несколько конечно-элементных моделей (плоско-приведенных и пространственных). В этих расчетных моделях были учтены арматурные стержни, трещины, строительные швы, окружающий скальный массив и пр.

Основные результаты вычисления действующих усилий сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Расчетные случаи	Расчетные сечения				
	В середине пролета	У грани колонны (на опоре)		В строительном шве	
Основное сочетание	Изгибающий момент М, т.м	Изгибающий момент М, т.м	Поперечная сила Q, т	Изгибающий момент М, т.м	Поперечная сила Q, т
Фрагмент 1	427	375	384	375	384
Фрагмент 2	271	160	298	213	246
Особое сочетание	Изгибающий момент М, т.м	Изгибающий момент М, т.м	Поперечная сила Q, т	Изгибающий момент М, т.м	Поперечная сила Q, т
Фрагмент 1	481	466	450	466	450
Фрагмент 2	338	249	372	243	284

Проведенные расчетные исследования напряженно-деформированного состояния и прочности массивных конструкций подкрановой эстакады позволили получить картину реальной работы и состояния сооружения.

По результатам выполненной в рамках принятых исходных данных, предпосылок и допущений работы были сделаны следующие основные выводы и даны рекомендации:

в продольной арматуре имеется значительный запас прочности; в поперечной арматуре имеется минимальный запас прочности; требуется учет работы сжатого бетона в наклонных сечениях, а также высокая марка и качество укладки бетона;

в зонах, ослабленных строительными швами, условия прочности в ряде сечений не выполняются; рекомендуется усиление данных участков путем увеличения сечений колонн для обеспечения надежного обеспечения опирания.

Как отмечалось выше, другим важнейшим элементом сооружения машзала является массивная сталежелезобетонная конструкция агрегатного блока, включающая спиральную камеру, требующая высокой надежности при ее безопасной эксплуатации.

В соответствии с проектным решением конструкция стальной внутренней оболочки спиральной камеры полностью воспринимает внутреннее давление воды. По техническим условиям, содержащимся в материалах контракта, при величине расчетного давления с учетом гидравлического удара, составляющей 3,42МПа, испытательная нагрузка для стальной оболочки равна 5,15МПа.

Бетонирование массива агрегатного блока выполняется при наполненной спиральной камере под давлением 1,5МПа. Таким образом, при нагрузке ниже 1,5МПа работает одна стальная оболочка; при нагрузке свыше 1,5МПа внутренняя оболочка и железобетонная часть блока воспринимают нагрузку совместно. Поэтому давление для расчета железобетонной части соответствует разности значений 3,42МПа и 1,5МПа.

Целью настоящего исследования являлся расчет прочности и трещиностойкости железобетонного агрегатного блока здания ГЭС в реальных условиях его работы и разработка схемы его армирования.

Диаметр входного сечения в спиральную камеру составляет 4,0м. Толщина стальной оболочки изменяется в пределах от 36мм до 50мм. Отметка горизонтальной оси спиральной камеры 592,0м. Вид в плане агрегатного блока представлен на рис.3.

Для расчетов был выделен фрагмент блока в пределах отметок 588,0м - 600,0м.

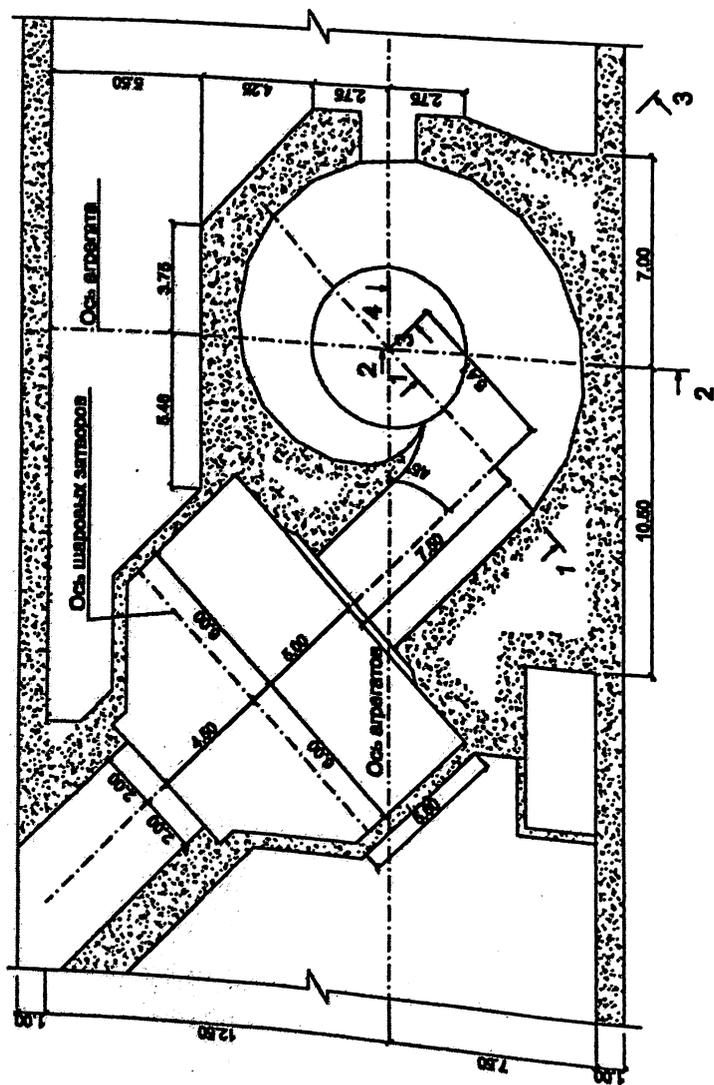


Рис. 3. Фрагмент плана агрегатного блока на отметке 591,60. Схема расчетных сечений в плане агрегатного блока. Размеры даны в метрах.

По окружности шахты генератора установлены по 12 фундаментных опор для статора генератора и для нижней крестовины на отметках 600,0м и 597,4м соответственно. Вертикальная нагрузка на каждую опору статора - 0,37МН. Вертикальная нагрузка на каждую фундаментную опору нижней крестовины - 1,3МН.

Расчеты напряженно-деформированного состояния блока проводились на основе осесимметричных конечно-элементных моделей, образованных вращением характерных вертикальных сечений блока вокруг оси агрегата.

В разработанные модели включались: стальная внутренняя оболочка спиральной камеры, железобетонная часть блока, статорные кольца, статорные колонны.

Основной расчетный случай для железобетонной части агрегатного блока рассматривался при максимальном давлении воды (1,92МПа) в спиральной камере с учетом гидравлического удара в момент закрытия направляющего аппарата. При этом нагрузка в конусе отсасывающей трубы соответствовала уровню воды в нижнем бьефе, учитывалось также вертикальное давление воды на крышку турбины.

Расчеты проводились последовательно для нескольких стадий работы конструкций: в предположении упругой работы сплошной структуры бетона блока, охватывающего спираль, до образования в нем трещин, а также с учетом вероятного образования трещин под действием растягивающих напряжений меридионального и торового направлений.

Результаты расчетов в упругой стадии показали наличие напряжений в бетоне на контакте с оболочкой, под действием которых могут развиваться трещины в направлении внешней поверхности агрегатного блока. По усилиям, полученным из расчетов в упругой стадии, было предварительно определено армирование, которое уточнялось в ходе дальнейших исследований.

Из расчетов блока (с учетом значительного снижения модуля деформаций в результате предполагаемого появления системы трещин и замены модуля упругости массива блока на его приведенное значение) были получены величины напряжений и усилий, по которым далее выполнялись уточняющие расчеты армирования. Таким образом, была выполнена расчетная оценка необходимого количества арматуры и разработана принципиальная схема армирования агрегатного блока, рекомендуемая для реализации в проекте ГЭС Тери.

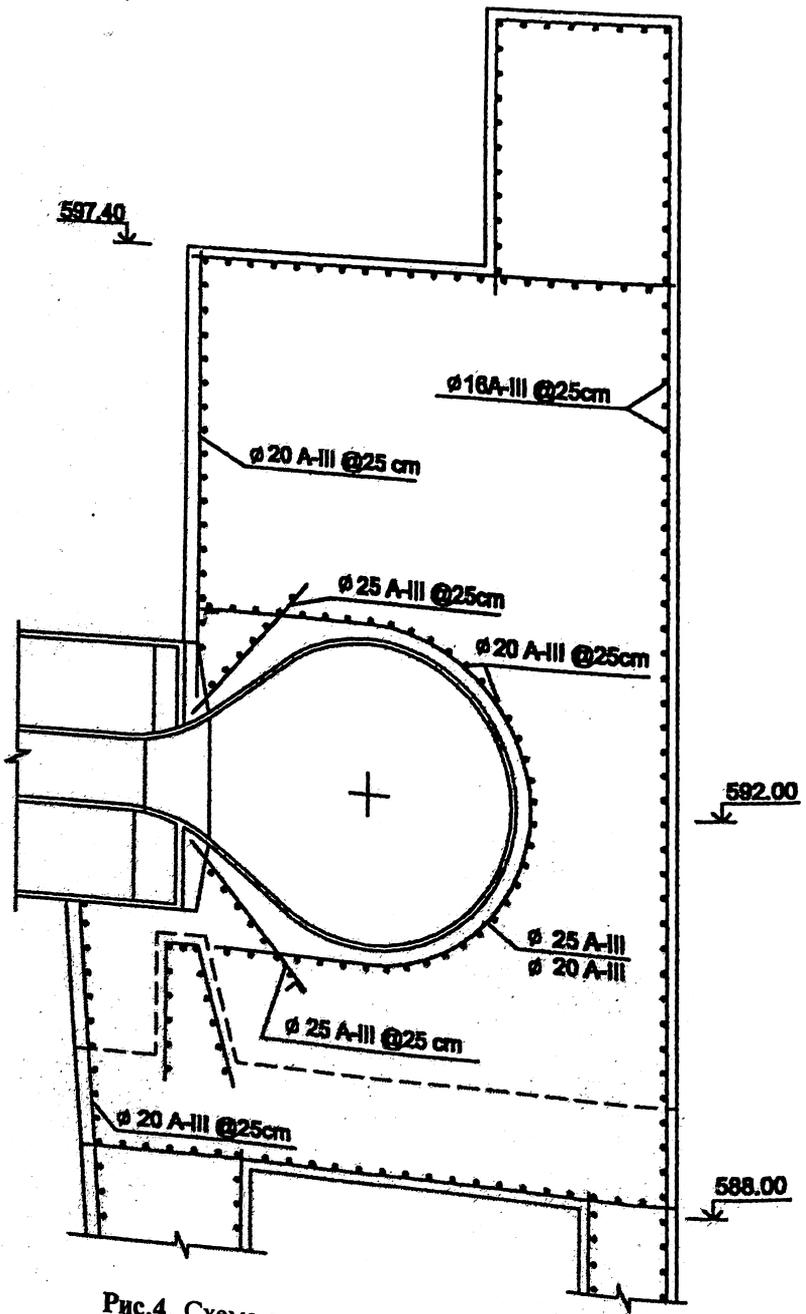


Рис.4. Схема армирования блока в сечении 2-2.

Одной из важнейших функций, которую выполняет арматура агрегатного блока, является сдерживание процесса дальнейшего развития трещин в направлении от оболочки спирали к внешнему контуру блока, ограничение раскрытия трещин внутри массива блока и защита от выхода трещин на наружную поверхность.

В плане блока стержни рабочей меридиональной арматуры размещаются в количестве 8 штук в пределах каждого центрального угла 18° (с шагом, соответствующим углу $2,25^\circ$ по окружности блока). Диаметр стержней арматуры изменяется от 25мм до 20мм по мере уменьшения диаметра спирали.

Схема армирования в одном из вертикальных сечений блока (сечение 2-2) представлена на рис.4. Дополнительное армирование потребовалось в верхней и нижней околостаторных зонах.

Разработанная конструкция агрегатного блока отличается высокой надежностью и обеспечивает безопасную эксплуатацию сооружения.

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ АРОЧНЫХ ПЛОТИН ПОСЛЕ НЕСКОЛЬКИХ ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Пронина Л.Э., Ашихмен В.А., инженеры (АО Гидроспецпроект)

Первые 2-4 года эксплуатации арочной плотины при максимальных напорах можно считать самыми жесткими по условиям работы и в тоже время определяющими для дальнейшего существования сооружения. Именно в это время происходит сложный процесс адаптации геосистемы плотина-основание к нарастающим до максимума напорам воды с последующими сработками водохранилища, к которым добавляются сезонные колебания температуры тела плотины. Этот процесс может привести и обычно приводит к непроектному перераспределению напряжений в этой системе, что, в свою очередь, ведт к деформациям, разуплотнению первично омоноличенных плотины и пород основания и новым (повторным) раскрытиям зацементированных строительных швов в бетоне и трещин в скале.

Такая картина наблюдалась и наблюдается на всех построенных и строящихся бетонных плотинах, и основным методом борьбы с дополнительными повторными раскрытиями строительных швов была дополнительная (повторная) их цементация. Цель таких инъекционных работ - заполнить цементом

вновь раскрывшиеся швы, зафиксировав полученные деформации и соответствующее им напряженно-деформированное состояние (НДС) сооружения на достигнутом уровне, не давая, тем самым, им развиваться дальше в худшую сторону.

Надобность в повторной цементации строительных швов возникала и при возведении высоконапорных бетонных плотин гравитационного и контрфорсного типов (Братской, Красноярской, Андижанской и др.), но обычными причинами этого были либо несоответствие между проектной и реальной температурами бетона при омоноличивании какой-либо группы карт, либо заведомо низкое качество инъектирования отдельных карт. Поскольку подобные причины были как бы не проектными, то и никакого специального технологического обеспечения такие мероприятия не имели. Обычно эти работы велись инъекцией в полости швов обычного цементного раствора через пробуренные скважины.

Начавшееся строительство арочных плотин вызвало необходимость разработки специального технологического обеспечения такой серьезной общестроительной операции, как повторная, а тем более многократная, цементация строительных швов.

Поскольку сама идея повторного омоноличивания подразумевает работу с законченной строительством арочной плотин здесь можно осуществить на практике все обязательные технологические правила цементации швов, которые невозможно было реализовать в строительный период по целому ряду причин производственного характера.

Во-первых, повторному омоноличиванию подлежит вся плотина: на всю высоту (от основания до гребня) и на всю ширину (от берега до берега), иными словами оно проводится, как *единовременное целевое общестроительное мероприятие*.

Во-вторых, такое мероприятие обязательно должно быть подкреплено специальным проектом, а разработанная в нем технология должна быть нацелена на конечный результат - улучшение НДС плотины или доведение его до проектного состояния.

В-третьих, для выполнения повторной инъекции каждая карта цементации должна быть оснащена отдельной трубной цементационной системой, оборудованной специальными клапанными выпусками, предназначенными для впрыскивания при определенном (в несколько раз большем, нежели при первичной цементации) давлении нагнетания цементного раствора в полость шва. После сброса давления в трубной системе клапаны должны за-

крываться, а система промываться от цементного раствора. Будучи промытой, она должна оставаться пригодной для последующего использования. При этом цементационные системы должны быть добротнo смонтированы и аккуратно забетонированы, чтобы при первичной инъекции они сохранили герметичность.

В-четвертых, наиболее полного и плотного заполнения швов цементом можно достигнуть при их максимальном раскрытии, иными словами при минимальных температурах бетона ($T_{п.о.} \leq T_{у.с.м.}$, где $T_{п.о.}$ - температура бетона при повторном омоноличивании, $T_{у.с.м.}$ - температура бетона установившаяся средне-многолетняя) и наини́зшем уровне воды в водохранилище. Такому состоянию плотины, как правило, соответствует зимне-весенний период, хотя промораживание бетона крайне нежелательно.

В-пятых, повторное омоноличивание должно выполняться последовательно от нижележащих ярусов цементации к вышележащим, при этом каждый ярус должен быть обработан отдельно и полностью (т.е. все карты, подлежащие повторной цементации в ярусе, от начала до конца), причем все карты в ярусе следует цементировать в направлении от ключевого сечения к берегам (рис.1).

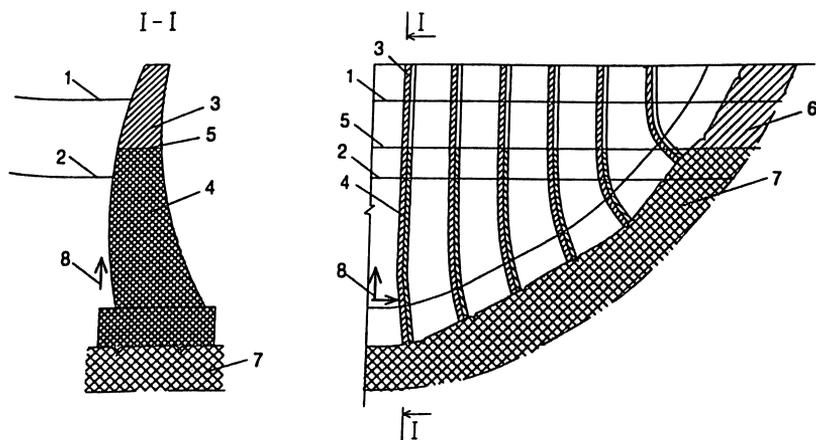


Рис.1. Последовательность выполнения повторного омоноличивания плотины и укрепления скального основания:

1 - НПУ; 2 - максимальный уровень сработки водохранилища; 3 - первоначально зацементированные швы; 4 - повторно зацементированные швы; 5 - граница выполненной повторной цементации швов и основания плотины; 6 - первичная укрепительная цементация основания; 7 - повторная укрепительная цементация основания; 8 - направление работ по повторному омоноличиванию (снизу вверх и от ключевого сечения к берегам).

Обязательным мероприятием при этом является также одновременная повторная укрепительная цементация скалы в бортах плотины в пределах омоноличиваемого яруса - это значительно повысит надежность и долговечность плотины, отодвинув сроки начала релаксации напряжений и деформаций.

В-шестых, при инъекции в каждый шов и в каждую карту необходимо добиться максимально возможного заполнения цементом при предельном расчетном давлении нагнетания раствора, которое должно обеспечить дополнительное раскрытие шва. При этом очень важно по окончании каждой инъекции получить остаточные деформации бетона, которые, накапливаясь от шва к шву по мере приближения к берегам, обеспечат преднапряжение плотины в пределах цементируемого яруса (рис.2).

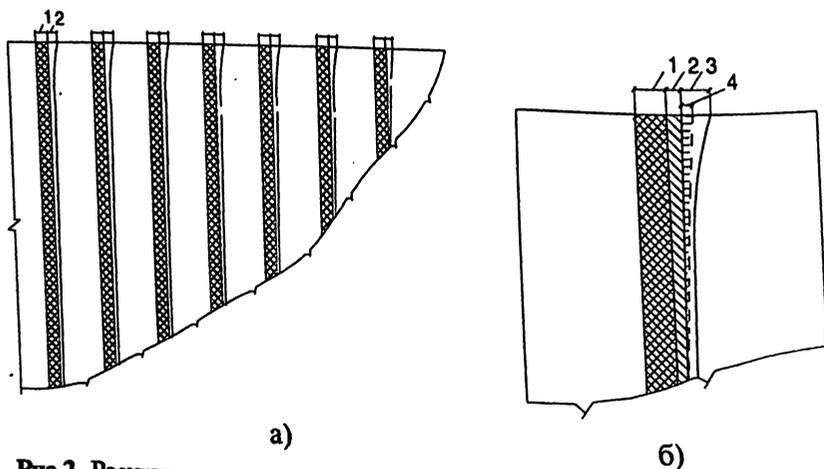


Рис.2. Раскрытие строительных швов плотины при повторной цементации.
 а - до начала повторной цементации; б - при повторной цементации.
 1 - первично зацементированный шов; 2 - последующее раскрытие шва после первичной цементации; 3 - дополнительное раскрытие шва при повторной цементации от давления нагнетания; 4 - остаточная деформация шва после выполнения повторной цементации.

Но даже выполнение всех указанных условий и правил не гарантирует желаемого результата, поскольку выполнение задач повторного омоноличивания затруднено основным негативным производственным условием - наличием малых, сверхмалых и неравномерных повторных раскрытий швов.

Например, абсолютные значения таких раскрытий на арочных плотинах Ингури ГЭС и Миатлинской ГЭС колебались от 0,1мм (в среднем поясе) до 0,7мм (карты у гребня плотин) при

среднем значении 0,25-0,35мм. Такие раскрытия абсолютно недоступны для проникания частиц цемента заводского помола. Отсюда и неизбежные очень быстрые отказы в поглощении раствора в самом начале инъекции. Именно поэтому, основой и стержнем всей технологии повторной цементации швов малого и неравномерного раскрытия является применение цементных растворов повышенной проникаемости (РПП), в которых после гидродинамического диспергирования и введения поверхностно-активных веществ (ПАВ) полностью отсутствуют частицы крупнее 50-60мк [1].;

Диспергированные цементные растворы не только обеспечивают проникание частиц цемента в щели с раскрытием 0,15-0,4мм (рис.3), но и обладают высокой стабильностью (нерасплаиваемостью), что позволяет даже после длительных остановок в нагнетании легко вымывать раствор из трубных цемсистем.

Именно это качество диспергированных растворов позволило сохранить трубные цемсистемы в картах плотины Ингури ГЭС, в которых в 1979-1980г.г. проводилась повторная цементация.

Только в этих картах через 8 лет удалось провести вторую повторную инъекцию с использованием промытых цемсистем, кстати впервые в отечественной практике.

Ни в одной из карт, где цементация велась обычным раствором, подобная операция не удалась.

Кроме того, кондиционные диспергированные растворы имеют пониженную вязкость, позволяющую прокачивать густые составы (В/Ц=1; 0,8; 0,6) на далекие расстояния и в тонкие швы, а также повышенную в 1,5-2 раза (по сравнению с необработанными растворами) прочность цементного камня. [2].

Неотъемлемой частью технологии повторного омоноличивания является также применение растворов с регулируемым временем потери подвижности (РРВП) для тех карт (в основном вблизи гребня плотины), в которых при нагнетании обнаруживаются большие течи и связанный с этим непроизводительный расход цемента.

Тщательно отработанная на практике, в том числе и для диспергированных цементных растворов, эта технология, будучи универсальной, позволяет проводить качественную цементацию швов даже при очень высокой степени их негерметичности.

Работа с применением технологии РРВП позволяет целенаправленно и предсказуемо ликвидировать течи, свести к минимуму потери цемента, развить в карте проектное давление и в результате добиться дополнительного раскрытия шва и, как

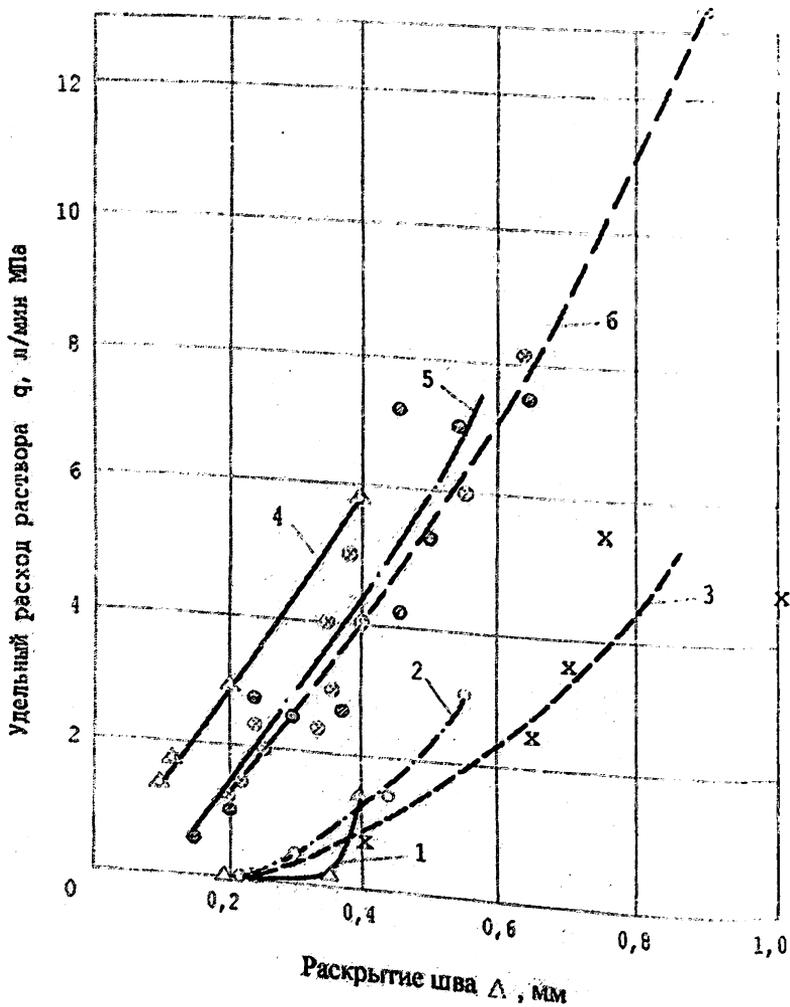


Рис. 3. Графики зависимости удельного расхода цементного раствора от величины раскрытия швов (арочная плотина Ингури ГЭС, цемент ИГЦ).
 1, 2, 3 - соответственно стеновые испытания, опытно-производственная повторная цементация и массовая производственная повторная цементация обычным необработанным цементным раствором ($B/C=3$); 4, 5, 6 - то же цементным раствором повышенной проницаемости ($B/C=1$).

правило, получить в конце инъекции остаточную деформацию бетона (рис.4).

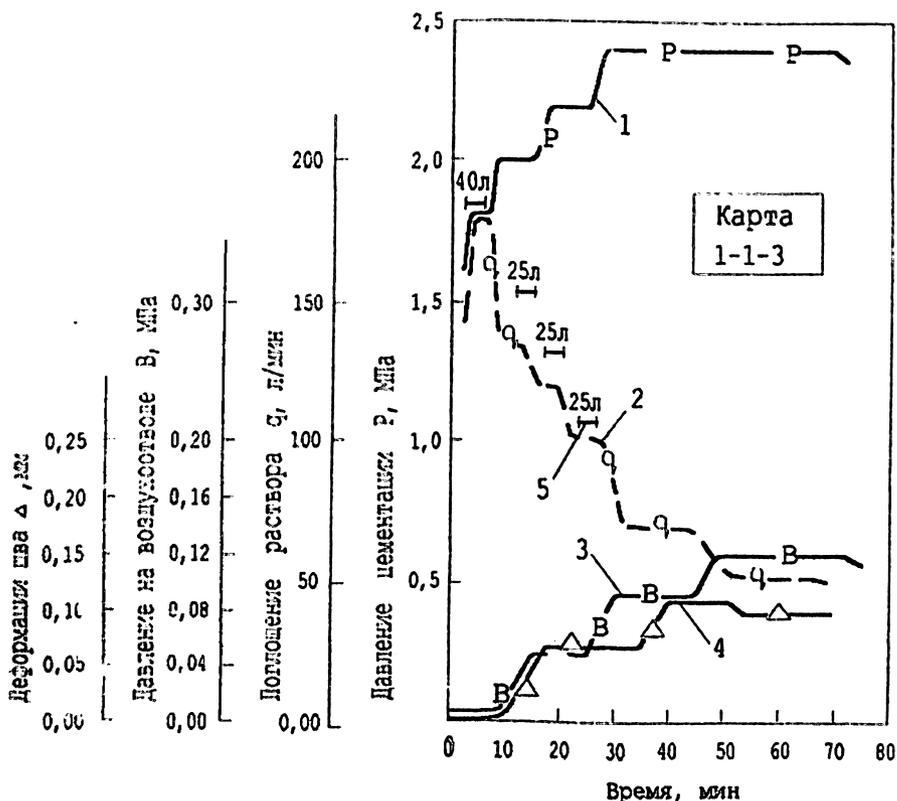


Рис. 4. График изменения технологических параметров повторной цементации негерметичной карты с применением технологий РПП и РРВПП. Повторная цементация карты 1-1-3 XXII яруса.

1, 2, 3, 4 - кривые изменения в процессе повторной цементации соответственно: давления нагнетания P цементного раствора в карту; поглощения раствора q ; давления на воздухоотводе B и дополнительного раскрытия Δ шва; 5 - объем добавки коагулята.

Проведенное на Ингурской арочной плотине в период 1986-1988г.г. полномасштабное повторное (а в среднем поясе и многократное) омоноличивание с применением технологий РПП и РРВПП при соблюдении всех прочих обязательных правил цементации швов позволило добиться преднапряжения плотины благодаря плотному заполнению швов цементом [3]. Перераспределение напряжений в теле плотины,

отмеченное показаниями закладной контрольно-измерительной аппаратуры, явилось причиной изменения НДС в благоприятную сторону. В первую очередь, это привело к повышению жесткости арки и к существенному (на 25-40%) уменьшению деформаций плотины в сторону НБ, зафиксированному геодезической службой в 1989г.

Повторная цементация швов с применением растворов повышенной проницаемости началась также на арочной плотине Миатлинской ГЭС, хотя здесь она осложнена тем, что первая повторная инъекция уже проводилась растворами на обычном цементе. Поэтому сейчас инъектирование (практически третье) придется вести в основном через скважины, потому что цементные системы почти повсеместно вышли из строя - промыть их после использования недиспергированных цементов, как и везде, не удалось.

Выводы:

1. Полномасштабное повторное омоноличивание арочной плотины после нескольких первых лет эксплуатации под нагрузкой - эффективное средство повышения ее надежности и безопасности эксплуатации. Основное назначение такого омоноличивания - доведение ее напряженно-деформированного состояния плотин до проектных параметров.
2. Основу технологии повторной (многократной) цементации швов, имеющих малые, сверхмалые и неравномерные раскрытия, составляет применение цементных растворов повышенной проницаемости (технология РПП) в сочетании (при обнаруженных неликвидируемых течах) с растворами с регулируемым временем потери подвижности (технология РРВП).

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 1386694. Способ омоноличивания гидротехнических сооружений преимущественно с малым раскрытием швов и устройство для его осуществления. / Ашихмен В.А., Пронина Л.Э., Королев В.М. 1993. Бюл. №13.
2. Королев В.М., Пронина Л.Э., Ашихмен В.А. Свойства цементных растворов повышенной проницаемости. //Сб. Трудов Гидропроектта, 1992. Вып.155.
3. Ашихмен В.А., Пронина Л.Э. Повторное омоноличивание и его влияние на напряженно-деформированное состояние арочной плотины Ингури ГЭС. //Гидротехническое строительство. 1994. №10.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НИЖЕГОРОДСКОЙ ГЭС В 1998 ГОДУ

*Блинов И.Ф., инженер (АО НИИЭС) Пермичев С.Ф., инженер
(Нижегородская ГЭС), Кузнецов В.С., кандидат техн. наук
(ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)**

В соответствии с Положением о системе отраслевого надзора за безопасностью гидротехнических сооружений и распоряжением РАО «ЕЭС России» от 23.01.98г. 14р комиссия с привлечением специалистов Нижегородской ГЭС, АО НИИЭС, ВНИИГ, ОАО СПКТБ Мосгидросталь и территориального центра РП «Центрэнергонадзор» провела обследование гидротехнических сооружений Нижегородской ГЭС. При составлении экспертного заключения были использованы проектные и научно-исследовательские материалы, результаты многолетних натурных наблюдений, отчеты по НИР АО НИИЭС, АО «Институт Гидропроект», ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» и других научно-исследовательских организаций, публикации и архивные материалы. Комиссия выполнила проверку организации контроля гидротехнических сооружений в объеме требований, регламентированных Федеральным законом «О безопасности гидротехнических сооружений», «Положением о системе отраслевого надзора» и «Правилами технической эксплуатации электростанций и сетей».

В состав гидроузла Нижегородской ГЭС на р. Волге входят здание ГЭС, бетонная водосливная плотина, грунтовые плотины 1-5, магистральный водоотводящий канал. Все гидротехнические сооружения относятся к первому классу. Общая протяженность сооружений напорного фронта - 13,1км (рис.1).

Суммарный сбросной расход воды через все водопропускные сооружения при НПУ 84,0м составляет 15100м³/с (основной расчетный случай), при ФПУ 85,5м с учетом трансформации части стока в водохранилище - 17900м³/с. Климат района Нижегородской ГЭС умеренный континентальный. Среднемесячные температуры воздуха: в январе -12°С, 13°С, в июле +17,5°С, 18,5°С.

* Кроме авторов в обследовании ГЭС НиГЭС принимали участие: Назаренков В.Г., гл. инженер НиГЭС, Сергеева Н.С., ст. научн. сотрудник ОАО «ВНИИГ им. Веденеева», Розин А.И., гл. конструктор ОАО СПКТ, «Мосгидросталь», Васильев Н.И., ПТО НиГЭС.

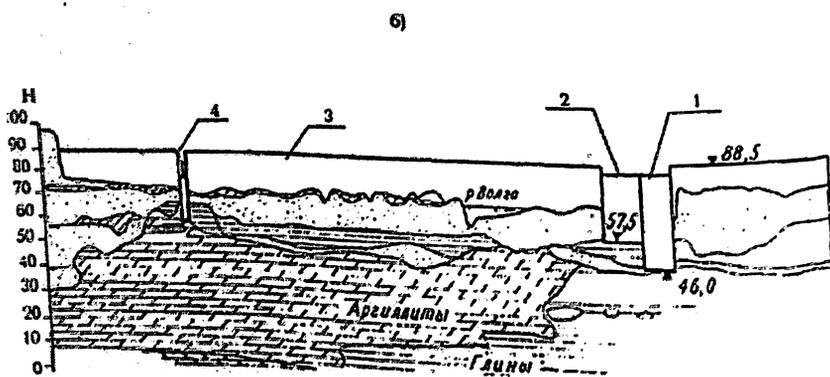
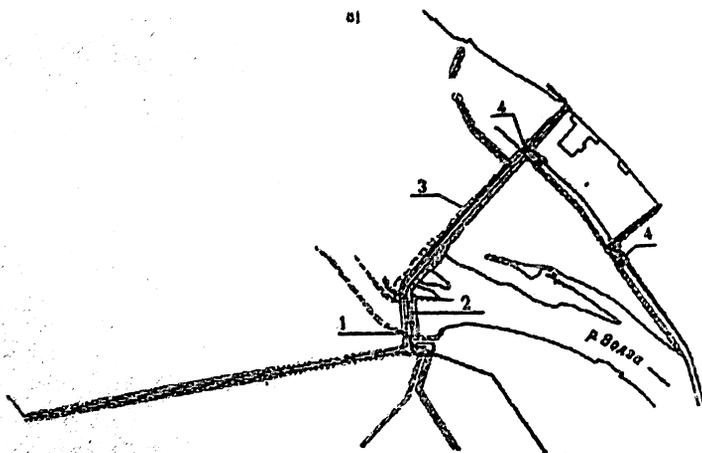


Рис.1. Нижегородская ГЭС:

а) план Нижегородского гидроузла; б) схематический разрез по оси сооружений:

- 1 - гидроэлектростанция; 2 - водосливная плотина;
- 3 - грунтовые плотины; 4 - шлюз.

Здание ГЭС, руслового типа, расположено на правом берегу р. Волге и в русле бывшей р. Воложки. Здание ГЭС - напорное железобетонное сооружение длиной 264м, шириной по основанию 63,0м состоит из четырех секций по 53,0м, в каждой из которых размещены по два гидроагрегата, и блока монтажной площадки. Надводное строение - полукрытого типа со съемными металлическими крышками над каждым агрегатом.

Основанием здания станции служат коренные породы Уржумской свиты (мергели и глины) практически водонепроницаемые с очень малой сжимаемостью. Так как основанием здания ГЭС служат водонепроницаемые мергели и глины, то специальных противофильтрационных устройств, кроме верхнего и низового зуба на флютбете с отметками 43,1 и 45,1м, проектом не предусмотрено. Дренажные устройства в основании не предусмотрены.

Дренаж внутренних помещений здания станции осуществляется с помощью лотков в бетоне, расположенных вдоль напорных стен верхнего и нижнего бьефов со стоком в каждой секции по трубам диаметром 75мм в водопроводную галерею, расположенную над верхним зубом флютбета.

Температурно-осадочные швы выполнены между всеми секциями ГЭС, первой секцией ГЭС и четвертой секцией водосливной плотины, четвертой секцией ГЭС и монтажной площадкой, между МП и правобережным примыканием ПБ-1. Противофильтрационными устройствами температурно-осадочных швов являются: в вертикальной плоскости - битумные шахтные шпонки размером в плане 140x80см, в горизонтальной плоскости - корытообразные шпонки.

Со стороны правого берега к зданию ГЭС примыкает подпорная стенка длиной 332,0м, состоящая из 12 секций, а к ней примыкают грунтовые плотины 1-2. В нижнем бьефе между зданием ГЭС и водосливной плотиной сооружена раздельная стенка (бычок) длиной 43,0м и шириной 3,5м.

Водобой и жесткая рисберма выполнены из монолитных железобетонных плит толщиной 2,5м, длиной 70,0м; гибкая рисберма длиной 48,0м - из двух рядов железобетонных плит 2,0x2,0x0,35м.

В ковше - регуляторе размыва, которым заканчивается гибкая рисберма, выполнена каменная призма. Общая длина крепления за зданием ГЭС составляет 143,0м.

Водосливная плотина гравитационного типа длиной 231,0м разделена температурно-осадочными швами на шесть секций шириной 48,0м каждая. Бычки плотины имеют ширину 3,5м (неразрезные) и 4,5м (разрезные). Отметка гребня плотины - 75,0м, напор на гребне - 9,0м, максимальный напор на плотину - 17,5м. Плотина имеет 12 водосливных отверстий шириной в свету 20м. Основанием плотины служат коренные породы сарминской свиты мощностью 10-12м, представленные слоями глин, мергелей, алевролитов и песков.

Левобережным устоем плотина примыкает к грунтовым плотинам 3 и сопрягается с ней железобетонной диафрагмой, переходящей в металлическую шпунтовую стенку.

Под всей подошвой плотины между верховым и низовым зубом уложен трехслойный обратный фильтр толщиной 50 см. Отвод воды из этого дренажного слоя осуществляется через 33 дренажных колодца диаметром 700мм, расположенных в одном створе с галереей на отметке 60,0м и два магистральных трубопровода диаметром 150мм с четырьмя выпусками в нижний бьеф. Конструкция шпонок аналогична таковым в здании ГЭС.

Крепление отводящего канала за водосливной плотиной состоит из водобоя и рисбермы, заканчивающейся ковшем регулятором размыва. Водобой длиной 57,5м, толщиной 2,5-3,5м уложен на трехслойный обратный фильтр, связанный с нижним бьефом разгружающими колодцами 0,4х0,4м, заполненных гравием. Жесткая часть рисбермы длиной 36,0м из бетонных плит размером 12,0х12,0х2,0м уложена на двухслойный обратный фильтр и заканчивается анкерным массивом, заглубленным до отметки 55,0м. Гибкая часть рисбермы длиной 54,0м состоит из двух рядов бетонных плит 2,0х2,0х0,35м, уложенных на слой бутового камня толщиной 0,7м и на два слоя обратного фильтра, и заканчивается ковшем с каменной пригрузкой. Общая длина крепления отводящего канала 171,5м от оси створа.

Пойменные грунтовые плотины 1-2 намывные из мелкозернистых и среднезернистых песков длиной 75м, максимальной высотой 15,5м и шириной по гребню 12,0м, имеют заложения откосов: верхового - 1:3, низового от подошвы до отметки 80,0м - 1:4, а выше этой отметки - 1:2,5. Отметка гребня 88,5м.

Верховой откос от гребня от отметки 80,0м закреплен бетонными плитами 10,0х10,0 м и толщиной 25-35см. Плиты армированы и связаны друг с другом сеткой арматуры $\varnothing 24$ мм; через 50м сетка разрезана. Швы между плитами уплотнены антисептированными досками толщиной 25мм. Низовой откос от подошвы до отметки 81,0м закреплен гравийной отсыпкой, уложенной на слой крупнозернистого песка толщиной 50,0см. Выше отметки 81,0м откос закреплен одерновкой.

Верховой и низовой откосы на отметке 80,0м имеют берму шириной 3,5м.

Основанием плотины служат аллювиальные террасы р. Волги, представленными песками, супесями и суглинками.

Вдоль плотины в подошве низового откоса на глубине 3,0-4,0м уложен трубчатый дренаж, состоящий из звеньев железобетонных

бетонных труб внутренним диаметром 0,5 и 0,75м и длиной 1,5м. Вокруг труб уложен двухслойный фильтр из крупнозернистого песка толщиной 0,25м и мелкого гравия - 0,15м. Сброс воды из трубчатого дренажа в магистральный коллектор осуществляется с помощью шести водовыпусков аналогичной с дренажем конструкции. Для контроля за состоянием трубчатого дренажа и возможности его очистки от наносов через каждые 50м устроены колодцы \varnothing 800мм. Для отвода ливневых и талых вод вдоль подошвы плотины устроен кювет с выпусками из него в магистральный коллектор.

Русловая грунтовая плотина 3, намывная из мелкозернистого песка длиной 1324,0м, максимальной высотой 30,5м, шириной по гребню 12,0м и отметкой гребня 88,5м, имеет заложения откосов: верхового - 1:4, низового - от подошвы до отметки 80,0м 1:4, а выше - 1:3. Верховой и низовой откосы на отметке 80,0м имеют берму шириной 3,5м.

Верховой откос от отметки 80,0м до гребня закреплен железобетонными плитами 10,0х10,0х0,25 - 0,35м. Низовой откос от подошвы до отметки 76,0м укреплен каменной отмосткой, а с отметки 76,0м до отметки 81,0м - гравийной отмосткой, выше отметки 81,0м до гребня укреплен одерновкой.

Роль дренажа в пределах русловой части плотины выполняет каменный банкет, а на островном участке, кроме того, трубчатый дренаж, уложенный по низовому откосу каменного банкета, фильтрационная вода из которого отводится в нижний бьеф водовыпуском.

Пойменная грунтовая плотина 4, намывная из мелкозернистого песка длиной 2237м, максимальной высотой 19,5м, шириной по гребню 12 и отметкой гребня 88,5м имеет заложения откосов: верховой откос 1:3, низовой откос от подошвы до отметки 80,0 м 1:4, а с отметки 80,0м и выше 1:2,5.

Верховой откос от гребня до отметки 80,0м закреплен железобетонными плитами 10,0х10,0х0,25 - 0,35м. Низовой откос от подошвы до отметки 76,0м укреплен каменной отмосткой на слое обратного фильтра, а с отметки 76,0 до отметки 81,0м гравийной отсыпкой также на слое обратного фильтра, а с отметки 81,0м до отметки 88,0м укреплен одерновкой.

В подошве низового откоса вдоль плотины на глубине 3-4м уложен трубчатый дренаж. Вокруг труб уложен двухслойный обратный фильтр из песка и гравия. Сброс воды из него осуществляется двумя водовыпусками в нижний бьеф. Через каждые 50м устроены смотровые колодцы диаметром 800мм.

Пойменная грунтовая плотина 5, намывная из мелкозернистого песка длиной 1310м, максимальной высотой 17,5м, шириной по гребню 12м и отметкой гребня имеет заложение откосов: верховой с отметки 80,5м до 85,0м - в среднем 1:21, а с отметки 85,0 до 86,6м - 1:12, с отметки 86,6 до гребня - 1:2,5, низовой откос от подошвы до отметки 79,0 м имеет заложение 1:12, а с отметки 79,0м до гребня - 1:2,5.

Верховой откос с отметки 80,5м до отметки 85,0м укреплен гравийной отсыпкой толщиной 0,5м, с отметки 85,0м до отметки 86,6м откос одернован в клетку, а выше до гребня - одерновка сплошная.

Низовой откос от подошвы до отметки 77,5м укреплен гравийной отсыпкой, а выше до гребня - одерновкой.

Основанием плотины служат суглинки и торфы.

В подошве низового откоса вдоль плотины на отметках 75,3-74,6м с одним уклоном уложен трубчатый дренаж с двухслойным обратным фильтром. Кроме трубчатого дренажа с отметки 80,0м до сопряжения с обратным фильтром уложен ленточный дренаж.

Нижегородская ГЭС эксплуатируется с 1955г. (временная эксплуатация), с 1956г. станция работает в режиме постоянной эксплуатации. Гидротехнические сооружения Нижегородской ГЭС оснащены контрольно-измерительной аппаратурой, обеспечивающей контроль за пьезометрическими уровнями, фильтрационными расходами, вертикальными перемещениями (осадками), деформациями подводных частей сооружений, температурой бетона, уровнями воды в верхнем и нижнем бьефах.

Всего в гидротехнических сооружениях Нижегородской ГЭС исправно работает 702 единицы контрольно-измерительной аппаратуры.

Комиссия отметила, что количество установленной и действующей КИА достаточно для осуществления контроля ГЭС станции. Напорные пьезометры в здании ГЭС не полностью оснащены образцовыми манометрами. Установку системы автоматизированного сбора, обработки, хранения данных наблюдений было признано нецелесообразным из-за большой (13км) протяженности сооружений. С целью повышения надежности и оперативности контроля за состоянием сооружений было рекомендовано разработать и поставить информационно-диагностическую компьютерную систему с базой данных для хранения, обработки данных наблюдений и оценки состояния сооружений. АО НИИЭС в настоящее время эту систему контроля для Нижегородской ГЭС выполняет.

Контроль за состоянием сооружений осуществляет группа наблюдений гидротехнического цеха в составе шести специалистов.

На основе результатов инструментальных и визуальных наблюдений, изучения материалов исследований, выполненных научно-исследовательскими организациями, комиссия дала следующую оценку состояния гидротехнических сооружений.

Здание ГЭС с сопрягающими устоями находятся в работоспособном состоянии. Основные показатели состояния сооружения (осадки, относительные смещения секций здания ГЭС, фильтрационные расходы, градиенты, противодействие) не превышают предельно допустимых значений (ПДЗ). Максимальные фильтрационные расходы через конструктивные элементы здания ГЭС не превышают 2,72л/с. Бетон здания ГЭС находится, в целом, в удовлетворительном состоянии. Исключения составляют зоны переменного уровня бычков, где бетон разрушен на глубину 15-20см с обнажением арматуры. В настоящее время производится ремонт бычков.

Бетонная плотина находится в работоспособном и исправном состоянии. Основные показатели состояния водосливной плотины (осадки, относительные смещения секций плотины, фильтрационные расходы, противодействие) не превышают ПДЗ. Исключение составляют осадки секции 6 - 70,0мм (ПДЗ - 65мм). Обращает на себя внимание подъем секций плотины до 4,0мм в 1997г. Было рекомендовано скорректировать ПДЗ осадок секций на основе многолетних данных наблюдений и оценить стабильность фундаментных реперов геодезической сети.

Величины максимальных фильтрационных расходов через конструктивные элементы водосливной плотины не превышают 0,58л/с. Бетон плотины находится в целом в удовлетворительном состоянии после более чем 40 лет эксплуатации.

Все грунтовые плотины находятся в удовлетворительном состоянии. Состояние крепления верхних откосов плотин 1-4, выполненных в виде железобетонных плит, удовлетворительное. Деревянные из досок уплотнительного слоя плит, пустоты сгнили. Отмечены разрушения защитного слоя плит, пустоты под плитами.

Состояние верхового откоса плотины 5, не имеющего специального противоволнового крепления, удовлетворительное.

Низовые откосы плотин имеют проектное заложение, за исключением некоторых участков плотин (1-2). Существенных нарушений местной устойчивости или фильтрационной прочности откосов в виде просадочных воронок, трещин,

промоин, выходов фильтрационных вод не обнаружено. Трубчатый дренаж работает эффективно. Однако имеют место локальная забивка дренажа железистыми хлопьевидными отложениями и очаги выноса песка через дефектные стыки труб дренажа с появлением на поверхности откосов вблизи дренажа просадочных воронок.

За весь период эксплуатации наибольший вынос песка в дренаж плотин (1-2) наблюдался в течение всего 1997 года, интенсивность выхода в колодцы достигала 50см в месяц. Каменный банкет русловой плотины периодически разрушается ледовым покровом (вынос камня), наблюдаются выходы воды на низовой откос, иногда с выносом песка. Магистральный канал в летнее время зарастает травой и заиливается, при этом создаются участки с нулевыми или обратными уклонами.

Осадки грунтовых плотин стабилизировались и изменения их находятся в пределах точности нивелирования III класса. Максимальные осадки гребня плотин (с учетом осадок основания) оцениваются величиной 100-120мм (0,6-0,8% высоты).

Фильтрационный режим на плотинах имеет установившийся характер. Увеличения дренажных расходов не наблюдается. Максимальные суммарные расходы воды, профильтровавшиеся через тело и основание плотин, в 1997 году составили: 426л/с (плотины 1-2), 129л/с (плотина 3), 188л/с (плотина 4), 60л/с (плотина 5), что в 2-5 раз ниже расчетных значений. Поверхности депрессии в плотинах характеризуются наличием значительного падения пьезометрических уровней в верховом клине. Гашение напора на плотинах 1-4 достигает 90%, на плотине 5 - 50%. Причинами такого гашения напора, вероятно, являются бетонное крепление верхового откоса, значительная дренажная способность основания плотин и низкая водонепроницаемость грунтов верховых призм. Выходов воды на низовые откосы плотин не наблюдается.

При низких значениях градиентов напора в теле и основаниях всех плотин, не превышающих 0,1, выделяется участок ПК 0-14 плотин (1-2), где выходной градиент фильтрационного потока в дренаж, уложенный в зоне контакта с основанием, достигает 0,37, что превышает допустимый для мелкозернистых песков основания.

В целях дальнейшего обеспечения эксплуатационной надежности и безопасности ГТС и эффективного контроля за их состоянием комиссия рекомендовала:

выполнить дополнительный анализ причин выноса в трубчатый дренаж плотины (1-2) по данным специальных натуральных исследований и решить вопрос о его реконструкции;

выполнить оценку соответствия фактических профилей низового откоса грунтовых плотин (1-2) проектным и уточнить геодезической съемкой заложение откоса на сомнительных участках;

уточнить критерии безопасной работы ГТС, разработанные в 1978г;

укомплектовать гидроцех современной нормативной и методической документацией по проведению натуральных наблюдений, обработке и анализу результатов;

обеспечить гидроцех для наблюдений средствами измерений (уровнемерами, термодатчиками и др.);

повысить класс нивелирования земляных плотин до II класса; выполнить проверку стабильности фундаментальных реперов; обеспечить ежемесячную периодичность измерений фильтрационных расходов в дренажах плотин и необходимую точность измерений;

с целью повышения надежности и оперативности контроля за состоянием сооружений внедрить информационно-диагностическую компьютерную систему;

продолжить работу по заделке открытых швов между железобетонными плитами креплений верховых откосов плотин из грунтовых материалов;

продолжить работу по ремонту бычков водосливной плотины в зоне переменного уровня.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ЗАГОРСКОЙ ГАЭС

Козлов О.В., Коптев В.И., кандидаты техн. наук (ЦСГНЭО)

На Загорской ГАЭС выявлен ряд участков, подверженных деформациям грунта оползневого характера. Одним из них является оползень «Южный», расположенный в непосредственной близости от трассы трубопроводов. Оползанию подвержены моренные суглинки мощностью 10-30м, смещение грунтов происходит по кровле «зеленых глин», σ_{pQ_2} [1]. Наряду с инженерными мероприятиями, включающими возведение подпорных призм, стенок, организацию дренажа, на объекте про-

водится комплекс геодезических, гидрогеологических и геофизических измерений с целью оперативного контроля и прогнозирования состояния оползневых участков.

Одним из эффективных методов долговременных наблюдений за состоянием грунтовых массивов в основаниях ответственных энергетических сооружений является метод «акустической эмиссии» (далее АЭ). Под этим термином понимается естественное излучение упругих волн в горных породах, бетоне и других средах, возникающих в процессе перестройки их внутренней структуры, при образовании и росте трещин, фильтрации жидкостей и др. [2]. Основными источниками АЭ в песчано-глинистых породах являются перестройка зернистой структуры и скольжение пород. Эти процессы сопровождают деформации и движение в оползневых телах. В связи с этим рост интенсивности АЭ, как правило, соответствует увеличению интенсивности оползневого процесса.

Под интенсивностью АЭ понимается количество импульсов АЭ, превышающих по амплитуде порог срабатывания счетчика, зарегистрированных в единицу времени. Этот параметр, ввиду его однозначной связи со скоростью деформации и уровнем напряжений среды [3], является важным показателем при проведении долговременных наблюдений.

Расположение точек регистрации интенсивности АЭ на участке Загорской ГАЭС обусловлено конструктивными особенностями сооружения и схемой его взаимодействия с вмещающей геологической средой. Наилучшие результаты получаются при наблюдении АЭ в специально оборудованных скважинах, где наблюдения в автоматическом режиме ведутся непрерывно в течение нескольких лет.

Скважины для наблюдений АЭ на Загорской ГАЭС имеют следующую конструкцию: глубина 10м, диаметр 90мм, скважина обсаживается металлическими трубами и заполняется водой, что позволяет создать хороший акустический контакт, а также изолировать датчик от влияния внешних шумов. Датчик опускается на глубину 5м и прижимается к стенке скважины. Вся скважина вместе с датчиком является чувствительным устройством, которое собирает импульсы АЭ, генерируемые в окружающем объеме грунта [3,4].

В центре службы геодинамических наблюдений в электроэнергетической отрасли (ЦСГНО), филиале АО «Институт Гидропроект», разработана аппаратура автоматической регистрации интенсивности АЭ с частотным диапазоном 10-100 КГц - «АЭ-2».

В скважинной части аппаратуры расположены сегнетоэлектрический датчик и предварительный усилитель. В наземной части аппаратуры находятся усилитель поступающих с датчика сигналов, блок формирования логических импульсов, таймер, счетчик импульсов, устройство электронной памяти, автономное электропитание, устройства управления и индикации. Регистрируется сумма импульсов, превышающих по амплитуде установленный порог для заданного интервала времени (2 часа) непрерывно в течение 2 недель. Один раз в 2 недели содержимое блока памяти очищается, а зарегистрированная информация вводится в ЭВМ и заносится в базу данных оператором вручную (при наличии устройства связи - непосредственно в ЭВМ). В настоящее время совершенствование измерительной аппаратуры продолжается.

Важным вопросом использования параметра интенсивности АЭ является оценка объема области суммирования сигналов АЭ [5]. Такая оценка позволяет переходить от общей интенсивности на пункте наблюдений к интенсивности АЭ на единицу объема. Поскольку в качестве волновода используется металлическая обсадная труба, затуханием акустического сигнала в нем можно пренебречь. Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо найти объем, определяемый активной длиной волновода и толщиной скин-слоя (функции длины волны). Учитывая высокий коэффициент затухания импульсов АЭ в грунтах пороговый уровень срабатывания счетчика установлен минимально допустимым. Для рассматриваемого случая наблюдений за развитием оползня активная длина волновода, определяемая конструкцией пункта наблюдений, составляет $h=10\text{м}$ при радиусе $r = 0.1\text{м}$ (длина волны при частоте 10кГц и скорости распространения упругих волн 1000м/с составляет $\lambda=0.1\text{м}$). Тогда искомый объем составит разность объемов вложенных цилиндров:

$$V=((r + \lambda)^2 - r^2) * \pi * h \approx 0,5\text{м}^3 \quad (1)$$

Рассмотренная оценка (1) указывает на локальный характер измерений АЭ и для средней зарегистрированной интенсивности АЭ 10имп/мин дает величину объемной интенсивности АЭ 20имп/мин/м^3 . Эта величина позволяет сравнивать интенсивности АЭ, полученные приемными устройствами различных конструкций, и оценивать концентрацию и размеры «активных»

неоднородностей в исследуемом массиве. При этом размер неоднородностей можно связать со временем релаксации напряжений в грунте. Более точные экспериментальные определения объемной интенсивности и оценки других параметров источников АЭ возможны при регистрации энергии и спектра сигнала.

В ходе долговременной автономной регистрации параметров АЭ необходимо сохранять и обрабатывать большое количество цифровой, текстовой и графической информации. В связи с этим важной частью комплекса является система хранения и обработки данных на ЭВМ, разработанная в ходе проведения работ на Загорской ГАЭС. Информационная система обработки и хранения (база данных) наблюдений акустической эмиссии основана на широко распространенном стандарте «*.dbf», что позволяет использовать при обработке разнообразное программное обеспечение.

Исходными данными для анализа динамики микродеформаций на участке упорной призмы оползня «Южный» на Загорской ГАЭС является временной ряд «двухчасовых» интенсивностей АЭ, полученный в 1990-1995 гг (с перерывами в зимние сезоны) и охватывающий периоды заполнения верхнего бассейна и эксплуатации ГАЭС. Наличие длительного и подробного ряда наблюдений обеспечивается автоматизацией процесса сбора и хранения информации. Пример фрагмента ряда наблюденных интенсивностей АЭ вместе с графиком изменения уровня верхнего бассейна приведен на цветной вкладке.

Анализ временного ряда, охватывающий различные стадии развития деформационных процессов на участке упорной призмы, позволил сформулировать два основных критерия состояния наблюдаемого участка. Под критерием в данном случае понимается эталонный набор признаков, характерный для рассматриваемого участка и позволяющий, с одной стороны, делать заключения об интенсивности текущих процессов деформации, а с другой - прогнозировать их дальнейшее развитие. Необходимая для упомянутых заключений информация содержится не только в величинах интенсивности АЭ, но и в структуре временного ряда. По этой причине количественные и качественные критерии требуют отдельного рассмотрения.

В роли количественных критериев состояния исследуемого участка были использованы такие параметры, как средняя величина интенсивности АЭ и дисперсия интенсивности АЭ на различных временных интервалах. Выбор указанных параметров основывается как на теоретических предположениях,

подробно изложенных в соответствующей литературе, так и на опыте работ [5]. Материалами для анализа послужили измерения АЭ совместно с наблюдениями за уровнем воды в верхнем бассейне ГАЭС и поведением ближайшего к пункту регистрации обратного отвеса 007а за 1990г. График зависимости интенсивности АЭ за 1990г и отсчетов по оси X обратного отвеса представлен на рис.1. Установлено, что активизации деформационных процессов на наблюдаемом участке соответствуют высокие значения интенсивности АЭ и ее дисперсии. Это согласуется с физическим смыслом вариаций интенсивности АЭ в грунтах.

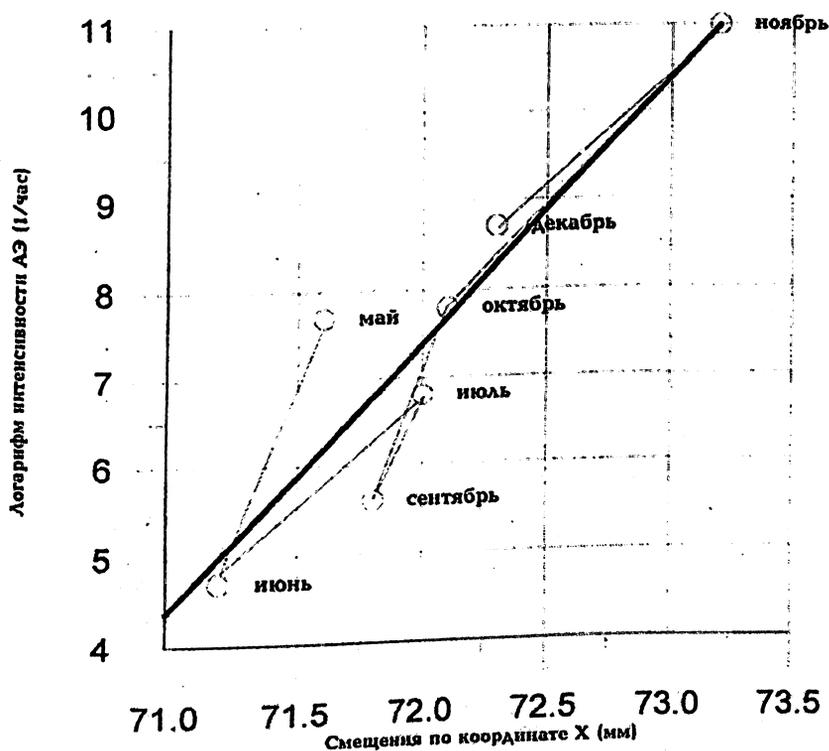


Рис.1. Зависимость интенсивности АЭ на участке оползня «Южный» от смещения обратного отвеса 007а за 1990г.

Основой для разработки качественного критерия состояния рассматриваемого участка являются уже зарегистрированные и идентифицированные деформационные процессы.

Одним из примеров является событие ноября 1990 года, представляющее собой длительное снижение активности, завершившееся быстрым чередованием нарастающих по абсолютной величине с падающими до минимальных значений величин АЭ. Указанное событие коррелируется с активизацией деформационных процессов по данным обратного отвеса 007а. Такое поведение характерно для грунтов в пластической стадии деформации. Зарегистрированы и АЭ-события другого рода, отражающие снижение интенсивности деформационных процессов. Идентифицированные события оформляются в виде каталога форм временного ряда АЭ, которые сопоставляются с его текущим поведением.

Таким образом, «качественным» прогностическим критерием является распознавание во временном ряду определенного типа событий. Надежность критерия повышается с увеличением общего времени непрерывных наблюдений.

Главной особенностью временного ряда интенсивности АЭ на участке упорной призмы является его выраженная периодичность. Наличие 24 часового максимума на периодограмме заставляет предположить взаимосвязь с периодичностью изменения уровня воды верхнего бассейна. Отмечаются также 12-часовой период, а также слабые максимумы, соответствующие приблизительно, одной и двум неделям. По сравнению с циклом (до заполнения верхнего бассейна) периодограмма временного ряда АЭ 1994-95 годов выделяется доминированием 24 часового цикла. Для получения него бассейна и ответной реакцией грунтового массива в виде увеличения интенсивности АЭ рассчитаны коэффициенты взаимной корреляции указанных временных рядов. Средняя величина временного сдвига составляет для июля 1994 года около 8 часов.

Для анализа трендовых изменений интенсивности АЭ построен график среднесуточной интенсивности АЭ с последующей интерполяцией полиномом 3 степени; аналогичные операции проведены над данными об уровне воды верхнего бассейна.

Данные наблюдений 1995 года обрабатывались методом построения диаграмм спектра когерентности [6] между интенсивностью АЭ и уровнем верхнего бассейна ГАЭС. Весь период наблюдений 1995 года можно условно разделить на три этапа, различающиеся характером временного ряда. Из графиков рис.2 видно, что в течение мая-июня имело место

постепенное снижение средней интенсивности АЭ. Исключением является всплеск активности в начале июня. Снижение интенсивности сопровождалось усилением внепериодических составляющих временного ряда. Вид эволюции квадрата модуля спектра когерентности говорит о постепенном усилении связи упомянутых временных рядов при снижении частоты. Июль и август характеризовались аномально низкими величинами интенсивности АЭ (среднедвухчасовое значение за сутки менее 200 импульсов) при высокой степени корреляции с уровнем воды. Период наблюдений с сентября по декабрь выделяется максимальными значениями интенсивности (двухчасовое значение за сутки более 500 импульсов) при усилении внепериодической активности и отсутствии корреляции с уровнем воды верхнего бассейна. Сложный характер взаимодействия наглядно демонстрирует эволюция квадрата модуля спектра когерентности (рис.3). После пика активности в середине сентября интенсивность уменьшается до средних значений, однако, корреляция с уровнем воды остается нарушенной.

Необходимо отметить, что в 1994 году максимум активности также приходился на сентябрь.

Цикл измерений 1995 года показал зависимость характера связи интенсивности АЭ и уровня воды верхнего бассейна ГАЭС от средней величины последнего. На рисунках 2 и 3 отчетливо видно, что период наилучшей корреляции совпадает с интервалом наименьших среднесуточных уровней, и наоборот, повышение среднесуточного уровня приводит к разрушению этой корреляции. Предварительная интерпретация этого явления приводит к предположению о наличии на участке оползня «Южный» и упорной призмы системы из двух реологических уровней.

При низких длительных нагрузках (соответствующих среднесуточным уровням воды) микродеформации на участке упорной призмы соответствуют циклическим изменениям нагрузки с небольшой задержкой (единицы часов). При превышении некоторого критического уровня (абсолютная отметка около 262м) микродеформации на участке упорной призмы имеют иную физическую причину и, соответственно, иные реологические константы (сотни часов).

Изучение предложенного разномасштабного механизма имеет прогностическое значение, так как режим выше кри-

тического уровня соответствует увеличению абсолютных значений и дисперсии интенсивности АЭ.

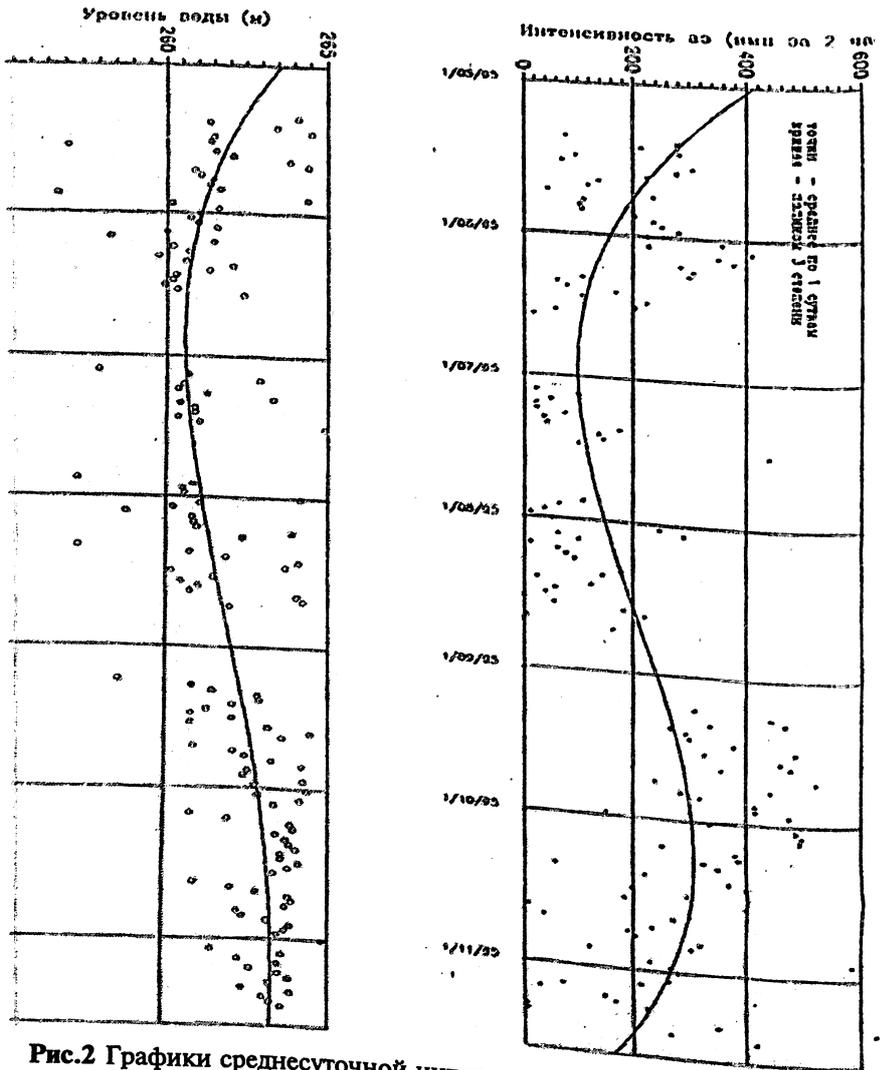


Рис.2 Графики среднесуточной интенсивности АЭ и среднесуточного уровня верхнего бассейна Загорской ГАЭС за 1995г.

Основными результатами за период наблюдений являются следующие:

величина двухчасовых отсчетов АЭ в 1995 году лежала в пределах 20-600 импульсов и не превысила принятой по ма-

териалам работ 1990 и 1994гг критической границы 1000 импульсов, при этом интенсивных внепериодических выбросов не отмечалось, что в совокупности говорит о снижении интенсивности микродеформационных процессов на участке оползня «Южный»;

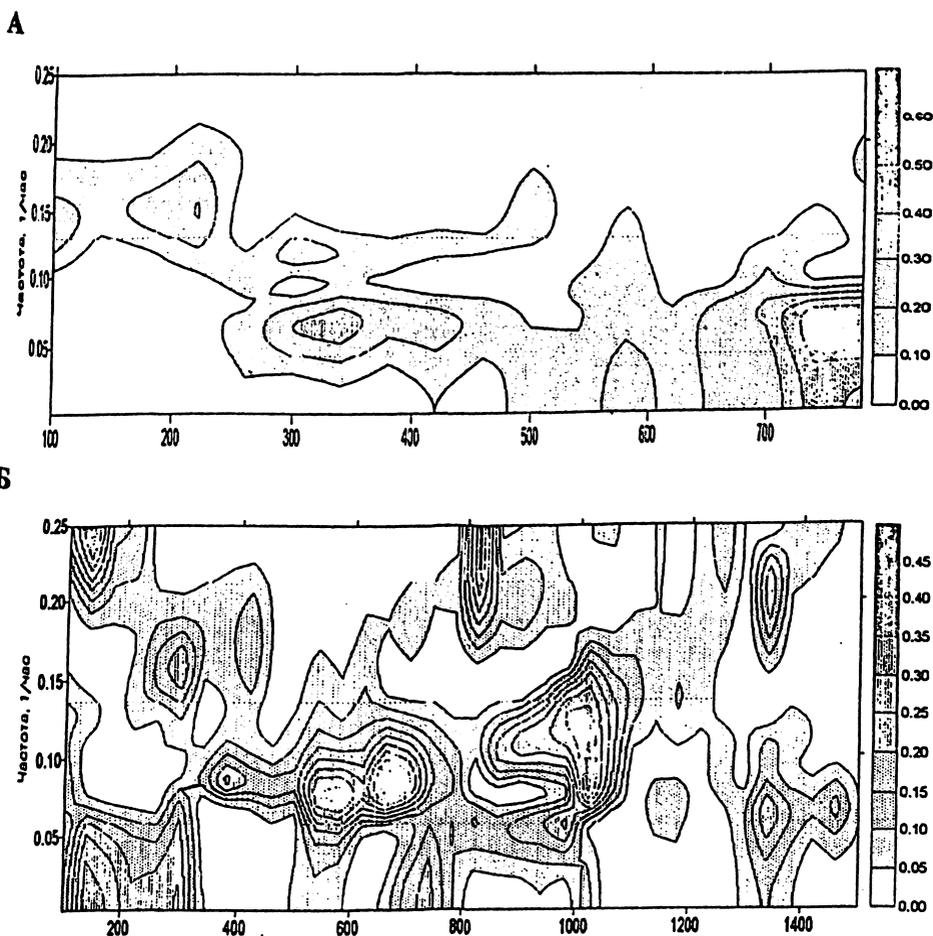


Рис.3. Эволюция квадрата модуля спектра когерентности между интенсивностью АЭ и уровнем воды верхнего бассейна в июне (А) и октябре (Б) 1995 года.

отмеченная еще в 1990г и усилившаяся в 1994 г корреляция уровней верхнего бассейна и интенсивности АЭ наблю-

далась также и в 1995г; при этом аналогично 1994г максимальная корреляция отмечалась в июле месяце, что совпадало с минимумом интенсивности АЭ. Это явление объясняется усиливающейся консолидацией тела оползня и упорной призмы;

установлена связь среднесуточной интенсивности АЭ со среднесуточными уровнями воды верхнего бассейна. Максимум интенсивности АЭ в 1995г пришелся на сентябрь, а минимум на июль месяц, причем среднесуточная интенсивность снизилась по сравнению с 1994г.

Результаты акустико-эмиссионных наблюдений на участке Загорской ГАЭС в 1990-1995гг хорошо согласуются с данными геодезических и геофизических методов (электрометрия). В силу прямой связи измеряемых параметров АЭ с деформированием грунта, а также высокой степени автоматизации системы сбора и оперативности обработки информации, метод АЭ имеет важное значение для использования в системах безопасности энергетических сооружений и при прогнозировании развития геодинамических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранова Т.Е., Карасева И.А., Юдкевич А.И. Результаты натурных наблюдений за оползневыми склонами Загорской ГАЭС и достоверность геологических прогнозов. //Гидротехническое строительство 1990. 2.
2. Грешников.В.А. Дробот Ю.Б., Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. М.: Изд. Стардартов. 1976.
3. П-879-90. Рекомендации по проведению акустико-эмиссионных исследований в скальных и рыхлых породах в гидротехническом строительстве. М.: Гидропроект 1990
4. R.M.Koerner, W.M.McCabe, A.E.Lord, Acoustic Emission Behavior and Monitoring of Soils. //ASTM. Philadelphia. 1981
5. Козлов О.В., Рудяк М.С., Опыт применения метода акустической эмиссии при строительстве гидротехнических туннелей. //Гидротехническое строительство. 1998. 1
6. Любушин А.А., Методика многомерного анализа данных для целей геодинамического мониторинга и поиска предвестников землетрясений. М.: ИЭГ ОИФЗ РАИ. 1995

ОПЫТ РЕМОНТНЫХ РАБОТ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НАДЕЖНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ БЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС И ТЭС

*Седых Ю.Р., кандидат техн наук, Семенов С.Н.,
инженер (АО НИИЭС)*

Восстановительные ремонты для энергетических сооружений тесно увязаны с их безопасностью. Таким образом, современные требования к безопасности и надежности объектов энергетического назначения должны быть адекватным образом отражены в технологии восстановительных ремонтов.

Ниже приводятся примеры эффективных технологий ремонтов на бетонных сооружениях ГЭС и ТЭС, проведенные с участием ООО ТПК «ТЕМАК ИНТЕР».

Программа ремонтов на Загорской ГАЭС была обсуждена и принята на базе регламентных обследований и включала, в основном, мероприятия по предотвращению протечек в эксплуатационные помещения.

В таблицах 1 и 2 приведены основные дефекты и их характеристики, которые определили технологию ремонтов.

Абсолютное большинство дефектов, вызывающих протечки, обусловлено двумя причинами:

низким качеством строительных работ по обеспечению герметичности или водонепроницаемости;

недостатками проекта в части температурной разрезки на блоки, водоотвода, теплоизоляции, конструкций шпонок и утеплителей.

Практически все процессы, связанные с фильтрацией, имеют высокие показатели изменчивости, что значительно усложняет ремонтные операции. К основным факторам изменчивости градиентов инфильтрации относятся:

температурные перепады;

колебания уровней бьефов;

циклы замораживания-оттаивания;

колебания уровней верховодки;

циклы атмосферных осадков;

колебания уровней аккумуляции атмосферной влаги в зависимости от систем водоотвода.

Таблица 1

Классификация сооружений, конструкций и помещений, подлежащих ремонту на Загорской ГАЭС.

пп	Наименование	Тип дефекта	Критерий безопасности или параметров регламента обследования
1	2	3	4
1.	Сухая потерна водоприемника (дренажная галерея)	Протечки по трещинам и рабочим швам; сильные высолы.	Отсутствие кольматации; приращение расходов во времени; сложности обслуживания дренажно-насосного оборудования.
2.	Кабельные каналы ОРУ	Протечки по швам между сборными тубингами по сколам, по стыкам с монолитными вставками; подовая фильтрация, проникающая через сборные элементы; плохое состояние подовых дренажей; активные высолы с отложениями на кабелях.	Перегрузки этажерок солевыми отложениями; перегрузка дренажных систем
3.	Напорная стена машзала водоприемника	Протечки по трещинам и горизонтальным рабочим швам; протечки через негерметичные температурно-деформационные швы.	Обводнение и засоление электрооборудования, обслуживающего рабочие и аварийные затворы водоприемника ГАЭС; невозможность производства отделочных работ.
4.	Помещение водоприемника и лестничная клетка	Протечки по рабочим швам, реже по трещинам; протечки по кабельным или закладным проходкам.	Обводнение кабельных или закладных проходок; замачивание вентиляционного, лифтового, силового и другого оборудования; затруднение эксплуатации и отделочных работ.
5.	Машзал ГАЭС. Контурная гидроизоляция на уровне пола	Протечки по примыканию кирпичной кладки к железобетонным перекрытиям и стеновым блокам.	Обводнение силового пола; прямая угроза безопасности эксплуатации машзала.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
6.	Электропомещение на отм. 4,3-11,8 (под трансформаторами, РУ 500)	Потолочные протечки по рабочим швам и трещинам; коррозия крепежных элементов	Обводнение распределительных ячеек, шинных каналов и другого электрооборудования; коррозия крепежных элементов; разрушение отделочных материалов.
7.	Деформационно-температурные швы перекрытий РУ500 на отм. 11,8	Интенсивные протечки в электропомещениях из-за нарушения или отсутствия герметичности швов	Обводнение шинопроводов, интенсивное подтопление пола электропомещений, невозможность нормальной эксплуатации трансформаторного хозяйства
8.	Машзал ГАЭС. Контурная гидроизоляция с нижнего бьефа на отм. 28	Протечки вдоль парапетной стены и трансформаторной мастерской в машзал ГАЭС и трансформаторную мастерскую	Активное обводнение машзала и трансформаторной мастерской сверху по всей стене машзала и трансформаторной мастерской.
9.	Напорные трубопроводы: -компенсаторные секционные швы; -балки прижимающих компенсаторов БМ-4 -защитная окраска труб	протечки трещинообразование выветривание	Протечки секционных швов нарушают герметичность бетонной оболочки за обечайкой; развиваются высолы и коррозия арматуры; трещинообразование в БМ-4 может снизить несущую способность балок; степень понижения несущей способности определяется специальными обследованиями с выдачей соответствующего заключения; защита поверхности труб предусмотрена проектом и повышает их долговечность

Несмотря на многообразие проблем и решений по восстановлению герметичности эксплуатируемых помещений, имеются все основания для унификации такого рода ремонтов на базе эффективных технологий.

В последнее время динамично и интенсивно на рынок герметиков поступают все новые и новые композиции, расширяющие возможности сложных ремонтов. Один из вариантов каталогов таких материалов, отражающих последовательность ремонтных операций, приводится в таблице 2.

Таблица 2

Образец каталога материалов, используемых при ремонте по восстановлению герметичности.

	Вид ремонтных материалов	Рекомендации по применению
1	2	3
1.	Высокопрочные и особопрочные бетоны литой консистенции на основе микрокремнезема, конденсированного по ТУ 7-249533-01-90, включая мелкозернистые бетоны. К этой группе относятся импортные материалы ремонтной группы, например, структуры фирмы «Thoro N.V.»	Заделка дефектов в бетоне в виде раковин, борозд, очагов выщелачивания; омоноличивание, восстановление защитного слоя; работа конструкции в тяжелых условиях. Используются мероприятия по повышению адгезионного сцепления.
2.	Специальные быстро схватывающиеся безусадочные растворы с повышенной адгезией и высоким тепловым эквивалентом (так называемые плаги: плаг-ксайпекс, плаг-концентрат, ватерплаг, вандексплаг и др. фирм «Хирех», «Thoro N.V.», «Vandex»)	Устройство самозалечивающихся заделок, пробок, штраб; быстрое предотвращение протечек; производство ремонтов в стесненных условиях, в том числе при дефиците времени.
3.	Кристаллогерметики с проникающей активностью и водонепроницаемые экраны на цементно-кварцевой основе. (Ксайпексы, торосилы, вандексы тех же фирм. Выбор эффекта пенетрации производится технологом при разработке ТУ на ремонт)	Повышение водонепроницаемости бетонных конструкций, работающих в условиях стабильных температур и фильтрационных градиентов
4.	Эластичные кристаллогерметики мембранного типа повышенной морозостойкости, например Thoroseal FX-100 или Vandex BB75E фирм «Thoro N.V.» и «Vandex»	Повышение водонепроницаемости бетонных конструкций, работающих в условиях деформационной нестабильности в определенных пределах

Продолжение таблицы 2

1	2	3
5.	Группа гидроактивных пенополиуретанов. (Система двухкомпонентных композиций «Cat-Cut-Flex», обеспечивающая любые уровни деформативности, быстроту расширения и эластичности конечной структуры; фирма «De Neet Conchem»)	Ремонт фильтрующих трещин, швов, обводненных дефектов на уровне микротрещин, производится как правило, нагнетанием под давлением через пакерные скважины.
6.	Твердые полиуретаны, в том числе клеевые (например, Клей полиуретановый по ТУ 5772-013-17187505-95)	Ремонты любых видов швов, шпоначных уплотнений, гидроизоляции. Относительное удлинение свыше 50 %
7.	Нетвердеющие эластичные битумно-полимерные материалы типа мастик (например, гидрофор ТУ 5775-023-17187505-95)	Ремонт наполненных закрытых уплотнений швов и шпонок, инъекций в закрытые полости и швы.

Все материалы п.п.1-5 применяются в соответствии с международной сертификацией ISO - 9001, 9002, 9003 или ГОСТ 40.9001-88; 40.9002-88; 40.9003-88. На них также имеются соответствующие гигиенические и пожарные сертификаты.

Имеющиеся каталоги отечественных и иностранных фирм включают более сотни наименований, поэтому выбор следует производить строго в соответствии с техническими требованиями к конструкции, с одной стороны, и фактическими показателями апробированных решений, с другой.

Для сооружений Загорской ГАЭС, требующих ремонтного вмешательства по повышению их водонепроницаемости, складываются определенные циклы или комплексы мероприятий, применяемые повторно в схожих случаях.

Ремонт галерей при постоянно действующем переменном фильтрационном напоре включает несколько операций или стадий: тщательные расчистки и очистки бетона, трещин и швов специальным образом;

проведение специальных водоотводных дренажных мероприятий, если это необходимо;

обработка кристаллогерметиками очищенных фильтрующих швов, трещин, раковин и других дефектов;

остановка течей быстросхватывающейся расширяющейся безусадочной закладкой;

окраска кристаллогерметиком.

Однако этот цикл может не оказаться окончательным, учитывая постоянное изменение напоров и динамику раскрытия трещин. Одновременно происходит перераспределение градиентов по фронту фильтрации и возникают ее новые очаги. Поэтому через некоторое время процедура должна быть повторена, причем объем ремонта значительно сократится. После второй стадии остаточные фильтрационные явления ликвидируются за счет устройства искусственной шпонки или закачки с определенным интервалом гидроактивного герметика, имитирующего температурный шов.

При ремонте протечек на напорной стенке с переменным напором и переменной температурой в помещении необходимо на основании ведомости дефектов сразу рассчитать интервалы между искусственными температурными швами, выполняемыми в виде накладной шпонки или закачкой эластичного плотного состава.

Для накладных ремонтпригодных шпонок типа «вкладыш» используются эффективные клеевые герметики, обладающие повышенной адгезией, свыше 0,5 МПа, плотные с $\gamma = 1000 \text{ кг/см}^3$ и условной прочностью 1,0 МПа. Герметики типа полиуретановых не имеют релаксационного эффекта, обладают конечностью формы и не текут во времени. Такой вкладыш длиной 200 мм может выдержать нагрузку 2 атм при ширине шпонки 100 мм, а при закачке в шов трубопровода ($L > 1 \text{ м}$) - до 17 атм при ширине 40 мм. Для такой шпонки может быть предусмотрена крышка любого типа, вплоть до цементного раствора.

В этом случае конструкция вертикальной, горизонтальной и потолочной шпонок полностью унифицируется.

Потолочные протечки, где дренами, как правило, являются межблочные швы, ликвидируются с применением шпоночного уплотнения, т.к. пиковый взрывной характер сезонной фильтрации разрушает структуры кристаллогерметиков.

В некоторых случаях не исключаются ремонты с помощью инъекций специального состава, например цементом с переходом на пенополиуретаны.

Значительный эффект получен при обработке сопряжений и углов бетон-бетон и бетон-кирпич полимербетонами на акриловой основе. Мастиками на битумополимерной основе можно вести кровельные ремонты практически всех типов, вплоть до кровель из железа. Как уже говорилось, перечисленные общие решения базируются на определенном ряде материалов, кото-

рые могут иметь разные названия и даже происхождение, однако четко выполнять свои функции. Эти функциональные характеристики представлены в таблице 2.

В каждом конкретном случае применение новых материалов связано с условиями работы ремонтируемых конструкций. Поэтому нужно представлять себе те ограничения, которые сопровождают любой тип ремонта.

Обработка трещин и швов кристаллогерметиками резко сокращает расходы фильтрации, однако не ликвидирует ее совсем, если действует хотя бы один из динамических факторов: температурные колебания в помещении, вызывающие раскрытие трещин; резкие колебания градиентов фильтрации; механические колебания перекрытий или ограждений, вызывающие трещинообразование в швах. Кроме того, кристаллогерметики имеют повышенную капиллярную пористость, что вызывает в переменном горизонте повышенное солевыведение. В этом случае ремонт производится поэтапно и может включать в себя: дренаж, устройство малых шпонок и искусственных шпоночных швов, заполнение плоскости трещин и швов гидроактивным герметиком методом инъекции, антисолевые покрытия, а также любые другие подобные комбинации.

Применение тяжелых клеевых твердых полиуретановых мастик в качестве адгезионных накладных шпонок в швах встречает сложности при обработке плоскостей швов под закладку шпонки, особенно при сильном увлажнении стенок. Необходимо применять сложные, комбинированные методы для очистки или осушки, а также герметизации примыканий.

На стадии диагностики эффективности ремонта серьезную проблему представляет собой выбор материалов и их оптимальных комбинаций. В гидротехническом строительстве, как правило, предъявляются три основных требования: адгезионная прочность, прочность при отвердевании и значительное относительное удлинение свыше 50%.

Применение кристаллогерметиков эффективно в сочетании с другими методами защиты. Ряд проблем до сих пор остаются нерешенными. В общем смысле идеальных решений не существует, поэтому в каждом случае следует добиваться максимально возможного эффекта, но без рекламных иллюзий.

По мере накопления опыта и отбора наиболее эффективных решений будет отрабатываться и унификация способов ремонтов, что сейчас и происходит на примере Загорской ГАЭС.

Лучшие из этих решений могут быть использованы при новом проектировании. Одновременно идут процессы получения и освоения все новых материалов, в том числе импортных, что также требует соответствующей классификации и унификации. В этом смысле ремонты на Загорской ГАЭС с помощью новых эффективных материалов имеют не только специально узкую цель, но решают и общие вопросы повышения долговечности и надежности сооружений за счет совершенствования средств обеспечения монолитности и водонепроницаемости.

Многолетние наблюдения и обследования гидротехнических бетонных сооружений теплоэлектростанций позволяют активно использовать опыт ремонтов, полученный на ГАЭС (ГАЭС).

Общие технологические решения могут быть выработаны для следующих конструкций гидротехнических бетонных сооружений:

башенная монолитная оболочка градирен;

бассейн-испаритель;

колоннада градирен;

бетонные стенки мазутных баков и их кровельное покрытие.

Для каждой из этих конструкций характерны определенные типы дефектов, снижающие надежность или нарушающие режим нормальной эксплуатации.

Оболочки градирен — просачивание воды через рабочие швы с образованием большого количества высолов; разрушение защитного слоя бетона с обнажением арматуры.

Бассейн-испаритель - протечки воды через швы и трещины, постоянное заболачивание примыкающей зоны.

Колоннада - значительное разрушение колонн, особенно внутренних ребер от циклов попеременного замораживания - оттаивания, вплоть до снижения их несущей способности.

Ограждающие конструкции мазутных баков - протечки сквозь швы и трещины в зонах значительных температурных перепадов (прямки в обваловке).

Перекрытия мазутных баков — кислотно-сульфатная коррозия бетона, разрушение защитного слоя, коррозия арматуры.

Кровельное покрытие мазутных баков - расслоение, нарушение парообмена.

Как правило, не наблюдается стабилизация дефектов или случаев самозалечивания. Перечисленные основные дефекты, раз возникнув, прогрессируют и динамика их развития носит довольно активный характер.

Из наиболее общепринятых способов ремонтов самое широкое распространение получило торкретирование. Однако опыт таких ремонтов показал, что универсальных способов лечения не существует, а торкретирование является далеко не лучшим из них, хотя качество самого торкрета при этом может быть превосходным. Опыт массовых однотипных решений не обеспечивает превентивность и надежность ремонтов. Через достаточно короткое время те же причины или источники дефектов снова начинают свою разрушительную работу.

Представляется более оптимальным строго индивидуальный локальный подход к ликвидации дефектов в строгом соответствии с результатами обследования и составленной на их основе ведомостью дефектов, где достаточно точно определен генезис этих дефектов.

Такой подход более функционален, однако требует множества индивидуальных решений и большого разнообразия технологических приемов и применяемых материалов. Тем не менее, при ограниченном круге конструкций и повторяемости ведомостей дефектов это разнообразие приемов унифицируется и поддается систематизации.

Вопрос о перемене стратегии в области ремонта бетонных сооружений ТЭС в настоящее время актуален не только по степени их износа, но и в связи с появлением значительного числа материалов, обеспечивающих необходимое разнообразие технологических решений и приемов при ремонтах.

Манипулируя различными сочетаниями этих материалов, можно добиться весьма высоких результатов. Примером эффективного технического решения может служить проведенный ООО ТПК «ТЕМАК ИНТЕР» ремонт по ликвидации протечек в мазутных баках одной из московских ТЭЦ 25 в 1996-1997гг.

Мазутные баки представляли собой цилиндрические емкости диаметром 54м из сборных элементов шириной 3,2м и швами омоноличивания между ними шириной 125мм. Перекрытие - пятирядное с ригелями, опирающимися на колонны. По ригелям уложены ребристые плиты. В центре - монолитное ядро диаметром 10м. В эксплуатации баки находились без ремонтов около 25лет. Последние два года наблюдались постоянно прогрессирующие протечки мазута в области сливного приемка, образующего пазуху в обваловке. Было проведено тщательное обследование баков после слива мазута. Задача по обследованию осложнялась наличием защитного торкрета высокой прочности, что затрудняло контрольные расчистки. В

ряде мест имелось отслоение торкрета от плоскости сборных панелей, что вызывало их замазучивание и маскировку мест протечки. По итогам обследования с выполнением контрольных расчисток была составлена карта протечек, и на ее основании поставлена задача по восстановлению непроницаемости баков. При выработке инженерного решения учитывались следующие обстоятельства:

утечка мазута происходит по швам между сборным элементом и монолитной вставкой, частично через трещины в панелях;

все дефекты расположены в области приямка и вызваны температурными разрывами;

мазут нейтрален относительно цементных структур, не вступает в реакции, вызывающие кольматацию дефектов, поэтому не является, как вода, активным элементом при самозалечивании бетона;

стенка достаточно тонка, поэтому разделка дефекта должна иметь малую глубину.

С учетом этих обстоятельств, а также условий безопасных работ непосредственно в мазутном баке ООО ТПК «ТЕМАК ИНТЕР» было предложено следующее решение:

разделка стенки вдоль плоскости протечки специальным инструментом с разрезкой торкрета и части плит;

тщательная зачистка вырезанной в форме ласточкина хвоста пазухи;

нанесение на поверхность штрабы специального твердого полиуретанового состава, предпочтительнее клеевого.

На поверхность полиуретана до его затвердения наносится гранитная крошка. После отвердевания полиуретановой диафрагмы штраба оштукатуривается специальным раствором на цементной основе. После соответствующего ухода и обработки поверхности полученные «полосы» окрашиваются специальным составом с мембранным эффектом, снижающим проницаемость дефектного участка.

Такое решение не требует повторного торкретирования. Оно абсолютно надежно, так как учитывает все условия, при которых возможно воспроизведение дефекта:

высокая деформативность и адгезия полиуретановых шпонок (до 150 %) практически при любых температурных перепадах обеспечивает защиту от протечек;

конструкция уплотнения равнопрочна с оболочкой, так как обрабатывается составом на цементной основе, гарантирующим самоуплотнение стыков во времени;

окраска специальными составами повышает поверхностную непроницаемость, предотвращая «смачиваемость» бетона мазутом.

Одновременно производилось обследование состояния перекрытия из сборных железобетонных плит. Оказалось, что часть поверхности (до 50%) подвержена коррозионным дефектам, вплоть до разрушения защитного слоя на ребрах плит. В данном случае ремонт должен предусматривать применение материалов, которые, с одной стороны, обеспечивают равнопрочность расчетных сечений, сцепление с арматурой и защиту арматуры от коррозии, а с другой - резко уменьшают проницаемость бетона от конденсата, насыщенного парами серной кислоты. Такая работа была выполнена примерно на 15% площади с использованием спецрастворов и кристаллогерметиков, обеспечивающих равнопрочность расчетных сечений, сцепление с арматурой и ее защиту, а также снижение проницаемости.

Рассмотренные примеры показывают, что ремонты бетонных сооружений ТЭС требуют комплексной «нелинейной» технологии, использующей значительной номенклатуры материалов и жестко адекватного инженерного решения результатам обследования.

Накопленный опыт ремонтов гидротехнических бетонных сооружений различного типа и назначения позволяет унифицировать цикл восстановительно-ремонтных работ для конструкций башенных градирен ТЭС, когда в основу любого вида ремонта положен принцип - после ремонта бетонная или железобетонная конструкция работает и самоупрочняется во времени именно как конструкция из бетона, а не из материалов заменителей, причем полностью сохраняется неразрывность сечений в плоскости дефектов за счет специальных адгезионных мероприятий. Таким образом, функциональное и прочностное восстановление, в основном, должно вестись за счет материалов, имеющих цементную основу.

Исходя из общих принципов можно сформулировать основные операции или стадии ремонтных работ конструкций башенных градирен.

Для оболочек:

изнутри и снаружи производится тщательная очистка, а также необходимые расчистки бетона, трещин и рабочих швов специализированным инструментом с высоконапорной промывкой;

изнутри специальным раствором заделываются раковины, разрушенные швы, восстанавливается защитный слой, для заделки значительных повреждений используются специальные бетоны;

вся поверхность окрашивается за два или три раза специальным составом на цементной основе, имеющем эластичные свойства;

тоже самое может быть сделано снаружи по специальному решению; восстановление защитного слоя или иная форма защиты арматуры обязательно.

Сюда входит большой комплекс, по выбору, соответствующих материалов, технология их приготовления, нанесения и уход за ними.

Для бассейна-испарителя:

контрольные расчистки, определение мест вероятных протечек; принятие эффективных инженерных решений;

производство специальных расчисток специализированным инструментом;

устройство замков-шпонок на основе полиуретановых клеевых составов;

общая заделка дефектных мест специальными составами повышенной водонепроницаемости.

Для колоннады применимы традиционные формы ремонтов, однако, исходя из опыта уже проведенных работ, необходимо отметить следующее:

как правило, динамика разрушений колонн и опор со стороны бассейна довольно активна, поэтому при ремонтах расчистки дефектного бетона производятся с особой тщательностью;

залечивание рекомендуется вести особопрочным бетоном на заполнителе с НК не более 20мм с упрочняющими добавками (по специальным ТУ) в опалубке;

при ремонте величина защитного слоя на внутренних ребрах должна быть увеличена; желательна замена полупрямоугольника колонны на полукруг;

ремонтный бетон омоноличивания колонн должен иметь повышенную морозостойкость.

Вывод:

Программа восстановления гидротехнических бетонных конструкций электростанций, к которым предъявляются повышенные требования надежности и безопасности, должна базироваться на унификации самых высоких технологий и отвечать современному уровню эксплуатации, т.е.

должна стать преимущественно инновационной и включать самые передовые технологии мировой практики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Седых Ю.Р., Семененок С.Н., Магрук В.И., Яновский А.П. Ремонтные по предотвращению протечек в сооружениях Загорской ГАЭС. //Гидротехническое строительство. 1997. 4.
2. Седых Ю.Р., Семененок С.Н., Колотузов В.А. Общие проблемы восстановительных ремонтов бетонных гидротехнических сооружений теплоэлектростанций. //Электрические станции. 1998. 11.

ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПЕРМСКОЙ ГРЭС И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ПЛИТ ОТКОСА ОТВОДЯЩЕГО КАНАЛА.

*Борисова Т.Е., инженер (Уралэнерго), Затворницкая Т.А.,
Пухов И.Е., кандидаты техн. наук, Магитон А.С., инженер
(АО НИИЭС), Соколов Л.Д., инженер (Пермская ГРЭС).*

На Пермской ГРЭС проектной мощностью 4800МВт, рассчитанной на шесть агрегатов по 800МВт, с1990г. по настоящее время эксплуатируются три энергоблока. В гидротехнический комплекс ГРЭС входят сооружения технического водоснабжения (ТВС), шламоудаления и хозяйственного водоснабжения на р.Тюсь. Строительство ГРЭС начато в 1976г., а в 1986г. был пущен первый энергоблок. Одновременно с энергоблоком были сданы в эксплуатацию сооружения технического водоснабжения, в том числе открытый отводящий канал и сопрягающее сооружение.

Отводящий канал протяженностью 869м с уклоном 0,0002, служащий для отвода охлаждающей циркуляционной воды от технологического оборудования, имеет трапециидальное отсечение шириной по дну 25м и заложением откосов 1:3. Откосы и днище канала облицованы сборными и монолитными железобетонными плитами по песчано-гравийной подготовке толщиной 200 и 300мм. Толщина железобетонных плит по дну и откосам на большей части канала составляет от 150 до 200мм. В апреле - мае 1994г. на правобережном откосе закругленного участка канала (ПК8) в железобетонных плитах были обнаружены сквозные трещины с широким

раскрытием (изломы). При водолазном обследовании подводного участка сечения канала было выявлено разрушение железобетонных элементов облицовки, в том числе упорного бруса и плит крепления днища и откосов. В грунте под местом размещения упорного бруса образовалась промоина глубиной до 2м, в которую опустились концы обломившихся плит крепления откосов и днища. Общая площадь обрушения составляет более 200м². Водолазным обследованием зафиксированы контуры пустот, разломы и просадки плит облицовки; смещение их относительно друг друга по высоте достигает 400-430мм, а ширина раскрытия трещин составляет 30-150мм.

Службами РСУ и ГТЦ Пермской ГРЭС были выполнены работы по ликвидации очага разрушения канала. За период с сентября 1994г. по октябрь 1997г. в промоину уложено щебня 420м³, песчано-гравийной смеси и валунов диаметром до 50см - 70м³. В пустоты под плитами на откосе через пробуренные скважины закачали насосом цементно-песчаный раствор в количестве 20м³.

Тем не менее, процесс размыва грунта и песчано-гравийного подстилающего слоя, а также разрушение железобетонной облицовки продолжаются.

При возведении отводящего канала имели место случаи, когда из песчаного основания не изымались линзы глинистой прослойки, а песчано-гравийная подготовка не уплотнялась или практически не выполнялась. Были случаи, когда бетонная смесь укладывалась в воду и через нее пробивались струи напорной грунтовой воды.

Обследование железобетонных плит облицовки откосов отводящего канала выполнялось по правому берегу надводной части облицовки в зоне очага разрушения на ПК8.

На указанном участке канала проверялось общее состояние железобетонной облицовки, вещественный состав, плотность, водопоглощение, а также марка по прочности при сжатии и водонепроницаемости косвенными методами. Для объективной оценки состояния монолитной железобетонной облицовки были вскрыты три шурфа 50х50см с отбором образцов (кусков) бетона для испытаний. Отобранные в шурфах бетонные образцы были испытаны в лаборатории отдела исследования строительных материалов (ОИСМ) АО НИИЭС. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний бетонных образцов, отобранных в шурфах железобетонной облицовки откоса в зоне обрушения плит отводящего канала Пермской ГРЭС на ПК 8

обр	Масса, г			Плотность, г/см ³	Водопоглощение, %
	Начальная	После высушивания	После водонасыщения		
1	154,3	150,2	158,8	2,35	5,19
2	740,0	705,5	747,0	2,22	5,90

Получены следующие косвенные показатели:

марка бетона при сжатии - 200кгс/см²

водонепроницаемость, ати - W4

В результате визуального анализа установлено, что бетон изготовлен на гранитном щебне размером 5-40мм и мелком заполнителе - гравийно-песчаной массе размером от 0 до 40мм.

Наиболее крупными элементами сопрягающего сооружения по объему бетона и протяженности являются низовые подпорные стенки. Их длина достигает 42м при высоте от подошвы до верха равной 15,5м и ширине в основании от 14 до 17м.

Низовые подпорные стенки армированы мощными арматурными каркасами, состоящими из отдельных стержней диаметром 32 и 42мм из стали класса АIII.

Бетон сопрягающего сооружения по проекту должен иметь марку М200, W4, F150.

Бетонирование сооружения велось ярусами высотой около 3м.

В настоящее время на поверхности железобетонных конструкций сопрягающего сооружения появились очаги разрушения в виде трещин и раковин. Трещины эти отличаются шириной раскрытия, протяженностью распространения и заполнением.

За очагами разрушения конструкций сопрягающего сооружения службой ГТЦ Пермской ГРЭС ведется наблюдение. Все видимые трещины зарисованы и сфотографированы, поведение которых во времени фиксируется в журнале.

Обследование железобетонных конструкций выполнялось в мае и апреле 1998-1999г. визуальным и инструментальным методами.

При визуальном осмотре фиксировалось общее состояние сооружений с выделением дефектных мест, которые проявляются в виде трещин и отдельных раковин плохо проработанного и разрушенного бетона со следами фильтрации и выщелачивания.

Инструментальное обследование заключалось в определении прочности бетона железобетонных конструкций методом неразрушающего контроля (ГОСТ 22690-88) с помощью эталонного молотка Кашкарова (ГОСТ 22690.2-77).

Обследованию подвергалась лишь надводная часть железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Вместе с тем были использованы материалы наблюдений за подводной частью сооружений, выполненные ранее службой ГТЦ Пермской ГРЭС в период минимального уровня зеркала воды в Камском водохранилище.

Обследование конструкций сопрягающего сооружения выполнялось с пожарной лестницы при строгом соблюдении техники безопасности, с использованием пробкового жилета, монтажного пояса и страховочного троса.

Результаты инструментального обследования приведены в таблице 2. Как видно из этих данных, средняя прочность бетона подпорных стенок равна или выше проектной марки М200, однако, при значительном разбросе от 170 до 430 кгс/см².

Таблица 2

Средние значения прочности бетона железобетонных элементов сопрягающего сооружения отводящего канала

пп	Наименование элементов конструкций	Количество точек	Прочность бетона на сжатие, кгс/см ²		
			Макс.	Мин.	Средн.
1	Верховая правая подпорная стенка	3	433	340	388
2	Верховая левая подпорная стенка	3	221	170	198
3	Низовая правая подпорная стенка. Верхняя зона	6	361	195	285
4	Низовая правая подпорная стенка. Нижняя зона	5	340	195	243
5	Низовая левая подпорная стенка. Верхняя зона	6	382	170	296
6	Низовая левая подпорная стенка. Нижняя зона	5	212	170	194

Бетон надводной части имеет прочность на 40% превышающую прочность бетона переменного горизонта. Определенное влияние оказывает также южная ориентация конструк-

ций низовых подпорных стенок, приводящая к увеличению фактического числа циклов попеременного замораживания и оттаивания и к снижению прочности бетона. Расчет, проведенный по методике, разработанной в отделе исследования строительных материалов, позволяет уточнить требуемую марку по морозостойкости с учетом данных колебания уровня воды и температуры на поверхности бетона.

Для выполнения ремонтных работ на участке разрушения отводящего канала (ПК8) принята технология подводного бетонирования специально подобранным составом литого подводного бетона, укладываемого без вибрирования.

Предлагается двухступенчатая технологическая схема производства работ. При этом перед началом работ производится очистка дна и контрольное нагнетание цементно-песчаного раствора под разрушенные плиты до «отказа» через специально просверленные отверстия.

Приготавливаемая на стационарном бетоносмесительном узле и доставляемая к месту укладки в автобетоносмесителях смесь под воду подается бадьями с помощью стрелового крана или по трубопроводу с помощью бетононасоса.

В обоих случаях заделка очага разрушения бетонной смесью выполняется в два этапа с помощью специальных установок двух типов.

На первом этапе бетонная смесь опускается под воду для заделки промоины в русле и восстановления облицовки днища канала, на втором этапе осуществляется бетонирование откоса канала (рис.1,2).

Заделка промоины и восстановление облицовки днища канала производится с помощью специальной установки, основными элементами которой являются:

стальная выравнивающая плита;

обсадные, привариваемые к выравнивающей плите трубы;

бетонолитные трубы, свободно вставляемые в обсадные.

Для разработки составов подводного бетона в ОИСМ АО НИИЭС в июле 1998г. были испытаны доставленные из г. Добрянка Пермской области пробы цемента, песчано-гравийной смеси, гравия и щебня, применяемых местными строительными организациями.

Одним из главных условий при разработке составов и выборе технологии ремонтных работ являлось обеспечение требуемой прочности, пластичности, оптимальной технологии приготовления и укладки в условиях подводного бетонирования. Проектная марка

М200 должна быть обеспечена на вторые-третьи сутки после укладки. Пластичность исходной бетонной смеси - не менее 24-26см по осадке и 48-52см по расплыву нормального конуса с учетом уменьшения этих характеристик под водой на 10-15%. Водоотделение и расслоение - в пределах 0-0,8%.

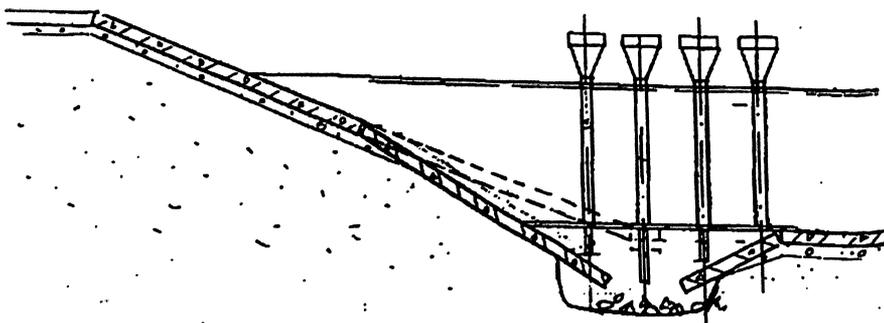


Рис. 1. Технологическая схема производства работ. Этап 1.

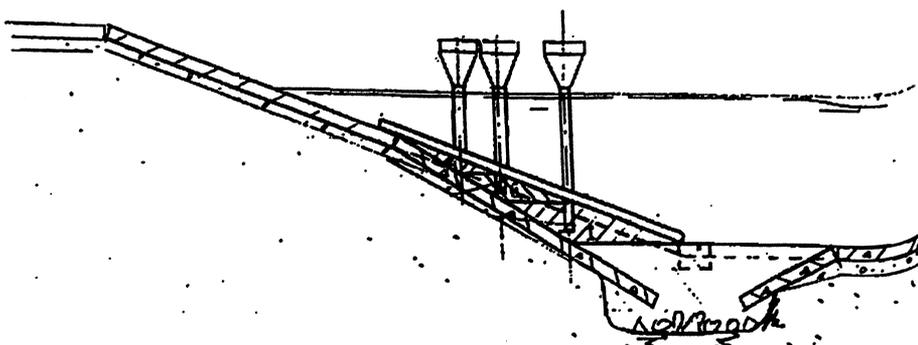


Рис. 2. Технологическая схема производства работ. Этап 2.

Литые бетонные смеси изготавливались в соответствии с требованиями ВСН 27-81*/МЭиЭ СССР «Временная инструкция по применению литых бетонов в энергетическом строительстве». Пробные замесы объемом 12-15 литров готовились в лопастной бетономешалке принудительного действия (типа СБ). Замер подвижности литой бетонной смеси (осадка и рас-

пльв) осуществлялся стандартным конусом по ВСН 27-81*, определялись объемная масса и водоотделение смеси. Из бетонной смеси изготавливались контрольные образцы размером 10x10x10 см, которые формовались без вибрирования и твердели в водной среде. Распалубка образцов производилась в суточном возрасте. Прочность при сжатии бетонных образцов определялась в водонасыщенном состоянии в возрасте 1, 3, 7 и 28 суток по ГОСТ 10180-90 (СТ СЭВ 30-3978-83) «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Параллельно определялась прочность образцов нормально-влажностного (стандартного) твердения.

В качестве крупного заполнителя при разработке составов бетона приняты два основных варианта для бетононасосной и бадьевой подачи: гравийный заполнитель максимальной крупностью 20мм без добавления щебня и щебеночный максимальной крупностью 40мм.

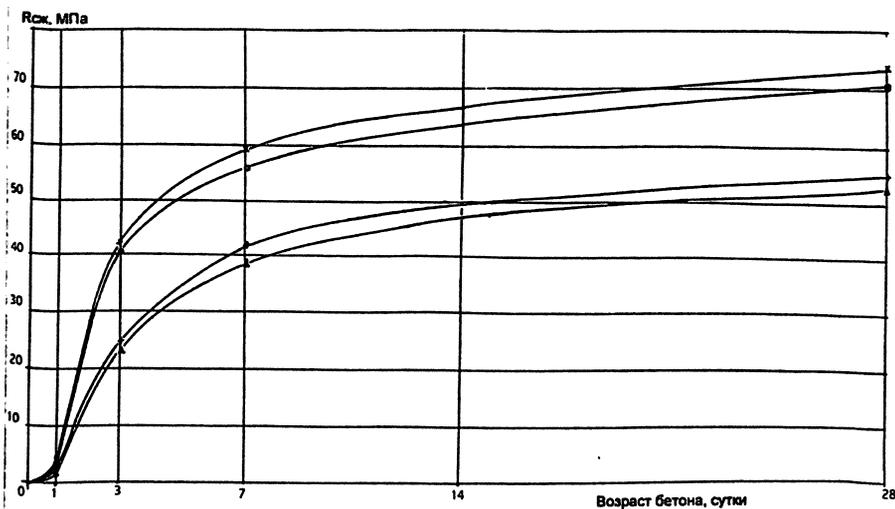


Рис.3. Рост прочности литых бетонов во времени, твердеющих в водной среде при T=12-14°C

На рис.3 представлены результаты испытаний образцов бетона с разными добавками на прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии в возрасте 1, 3, 7 и 28 суток. Как видно из рисунка, все составы бетона в возрасте одних суток имели прочность от 2 до 3 МПа, в возрасте двух-трех суток прочность достигала марки 200-400. В возрасте от 3-х до 7 суток прочность бетонов составила 40-60 МПа, а к 28 суткам - 75МПа.

Характерно, что прочность подводного литого бетона на 8÷18% выше, чем при нормально-влажностном твердении.

Для исследования прочности сцепления свежесуложенного бетона со старым бетоном в условиях подводного бетонирования проводились стендовые испытания в бассейне объемом 1м³ на материалах-аналогах (рис.4).

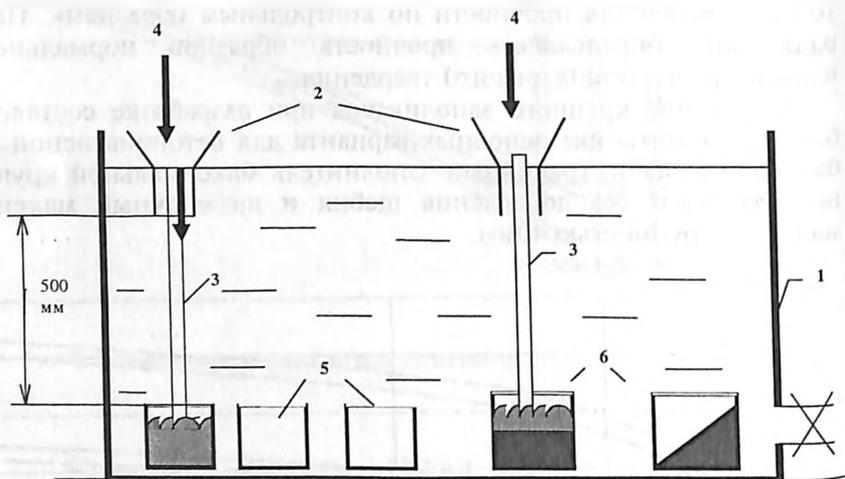


Рис.4. Лабораторный стенд для исследований подводного литого бетона и технологии подводного бетонирования свободным сбросом.

- 1.- бассейн из оргстекла, заполненный водой, размерами 1,47×0,965×0,685м;
- 2.- передвигаемая приемная воронка;
- 3.- направляющая линейка;
- 4.- сбрасываемая бетонная смесь;
- 5.- формы для бетона размерами 10×10×10 см для определения прочности литого бетона на сжатие;
- 6.- формы со старым бетоном размерами 15×15×15 см для определения прочности сцепления литого бетона со старым бетоном.

В результате эксперимента предполагалось получить пять видов шва между новым литым бетоном и старым среднепластичным: горизонтальный, вертикальный, наклонный нижний, наклонный верхний, потолочный и бетонный монолит.

Испытания проводились в возрасте 28 суток. Расчет прочности шва и прочности монолита (для сравнения) при раскалывании производился по формуле:

$$R_{pp} = \frac{2P}{\pi \times A}$$

где P - разрушающая нагрузка, кгс; A - площадь поверхности шва, (раскола монолита), см².

Одновременно проводились аналогичные испытания при бетонировании на воздухе и твердении бетона в нормально-влажностных условиях. Полученные абсолютные значения прочности сцепления при подводном бетонировании находились в пределах аналогичных показателей при омоноличивании на воздухе.

В результате проведенных исследований разработаны «Рекомендации по составам и технологии подводного литого бетона для ремонтных работ на гидросооружениях Пермской ГРЭС».

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИЛЫ АРМАТУРНЫХ ТИПА ПСАС И ПСАС-Т В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ КУРСКОЙ АЭС В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ И ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

*Ильин Ю.А., Копвалов И.К., инженеры (АО НИИЭС),
Фильков В.Н., инженер (Курская АЭС)*

Соответствие реального и расчетного напряженно-деформированного состояния (НДС) железобетонных конструкций энергетических сооружений является одним из основных требований их безопасной работы, однако фактическое состояние эксплуатируемых энергетических сооружений зачастую заметно отличается от расчетного из-за влияния неучтенных при расчете различного рода факторов. Поэтому контролю НДС сооружений в строительный и эксплуатационный периоды уделяется значительное внимание. Для этих целей используются большое количество разнообразной аппаратуры и методов измерений, в том числе специализированные технические средства. Основываясь на многочисленном опыте проведения натуральных исследований и наблюдений, можно с уверенностью сказать, что наиболее надежными и эффективными средствами

для замера напряжений в арматуре являются преобразователи силы арматурные струнные ПСАС (датчики), устанавливаемые в сооружение и надежно работающие в течение длительного периода [1]. Сегодня датчики применяются как для решения локальных задач, так и в автоматизированных системах длительного диагностического контроля состояния элементов сооружений при их строительстве и эксплуатации.

Впервые в нашей стране датчики напряжения арматуры железобетонных конструкций были разработаны и изготовлены в Ленинградском институте сооружений в 1934 году для натурных исследований, проводившихся на Нижне-Тулумской ГЭС [2]. Однако эти датчики были не очень надежны, и в 1940 году В.П. Бомбчинским была предложена более совершенная конструкция, сохранившаяся, в основном, до настоящего времени (рис.1).

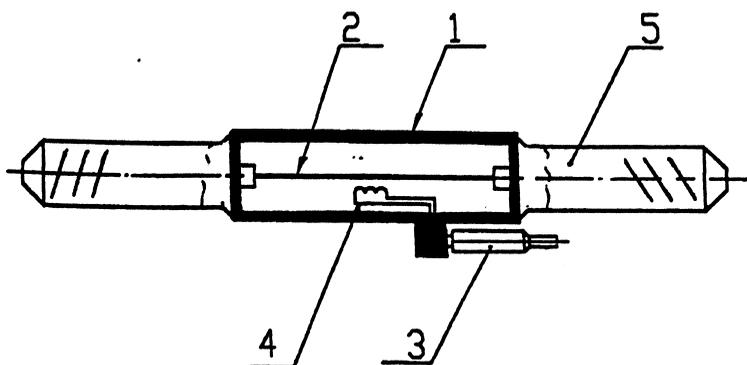


Рис. 1. Конструктивная схема ПСАС.

1- корпус (упругий элемент); 2- струнный преобразовательный элемент; 3-наконечник кабельный; 4- катушка электромагнитная; 5-стержни арматурные удлинительные.

Датчик состоит из корпуса (1), который одновременно является упругим элементом, струнного преобразовательного элемента (2), кабельного наконечника (3) для герметичного соединения выводов электромагнитной катушки (4) с резиновым кабелем и удлинительных арматурных стержней (5), необходимых для сварки датчика с контролируемой арматурой.

Датчик работает следующим образом. Вваренный с помощью удлинителей 5 в разрыв контролируемой арматуры он воспринимает упругим элементом 1 изменения силы растяжения арматуры и преобразует ее в деформацию струны 2, частота колебаний которой однозначно зависит от силы ее натяже-

ния. Измеряя частоту собственных затухающих колебаний струны, по градуировочной характеристике датчика вычисляют силу, растягивающую арматуру, а затем и напряжения в ней.

АО НИИЭС разрабатывает и изготавливает эти датчики начиная с 1950 года. В основном они установлены в гидроэнергетических сооружениях, и опыт их длительной эксплуатации, даже в экстремальных условиях Крайнего Севера, доказал их надежность. Например, 41% датчиков установленных на Кислогубской ПЭС через 30 лет их эксплуатации продолжают давать достоверные результаты измерений [3].

Поэтому, когда на одном из блоков Курской АЭС вышла из строя система охлаждения строительных конструкций и появилась необходимость определить НДС строительных конструкций «горячих» боксов, к которым относятся: помещения барабанов-сепараторов (БС), нижних водяных коммуникаций (НКВ), помещения опорных конструкций реактора и другие, эксплуатируемые при действии повышенных и высоких температур порядка 200-250°C, было решено использовать датчики ПСАС [4].

В статье «Обеспечение безопасности эксплуатации помещений АЭС» [5] проведен анализ НДС железобетонных конструкций «горячих» помещений Курской АЭС при длительных статических нагрузках и температурных воздействиях, выполненный с использованием данных, полученных по датчикам ПСАС.

На первом этапе исследований предполагалось использовать эти датчики для решения локальной задачи, а именно установить функциональную зависимость изменения напряжений в арматуре от изменения температуры окружающей среды в «горячих» помещениях во время работы блока. После того, как указанная цель была достигнута, и часть датчиков продолжила нормально работать, было принято решение продолжить наблюдения по ним в эксплуатационном режиме станции, т. е. датчики стали элементом железобетонной конструкции «горячих» помещений.

В соответствии со стандартом рабочая область температур окружающей среды для датчиков ПСАС составляет от минус 20°C до плюс 40°C, что не позволяет использовать их в полной мере в условиях работы «горячих» помещений АЭС [6]. Датчики, которые устанавливались в условиях работы при температуре 60°C и выше, требовали частой замены. Для расширения рабочей области температуры до 150°C и выше специалистами АО НИИЭС в 1995 году была разработана

техническая документация на ПСАС-Т и изготовлены экспериментальные образцы датчиков. В основе ее осталась конструкция ПСАС, но была полностью изменена конструкция электромагнитной катушки, а также кабельного накопника. Кабель в резиновой оболочке типа КРГД2х1,5 ТУ 16-505-065-70 заменен на термостойкий типа СТПЭГ 3х0,75 ТУ 16.505.540-82 с оболочкой из ПВХ. Переход на 3-х жильный кабель позволил дополнительно измерять температуру окружающей среды по изменению сопротивления электромагнитной катушки при изменении температуры.

Проведенные заводские испытания подтвердили следующие технические характеристики ПСАС-Т :

пределы измерения, кН 0 - 320;
диаметр удлинителей арматуры, мм 40

Информативный параметр выходного сигнала датчика - период (частота) затухающих колебаний ЭДС:
рабочий диапазон выходного сигнала в пределах от 0,45 до 1,25 мс (от 0,8 до 2,2 кГц) ;

изменения частоты выходного сигнала при изменении усилия от нижнего до верхнего предела измерения - $(1,0 \pm 0,3)$ кГц;
период (частота) выходного сигнала при нулевом значении измерительного усилия - (1020 ± 210) мкс, $(1,0 \pm 0,2)$ кГц;
измерительный прибор ПЦП-1 ТУ 34-28-10246-95.

Пределы допускаемой основной погрешности преобразователей, приведенной к диапазону измерений, должны быть не более $\pm 4\%$.

Предел допускаемой вариации выходного сигнала, приведенный к диапазону измерений, должен быть не более 4%.

Предел допускаемой дополнительной погрешности преобразователей, приведенной к диапазону измерений и вызванной изменением температуры окружающей среды на каждые 10 град.С, должен быть не более $\pm 1\%$. Вероятность безотказной работы преобразователей за наработку 4000 час. - 0,98.

Габаритные размеры и масса датчика:

диаметр, мм	55
длина без кабеля, мм	625
высота, мм	75
масса, кг	7,5

Условия эксплуатации датчиков:

рабочий диапазон температур - от минус 30°C до плюс 120°C и сохранение работоспособности при температуре до 250°C;

Нормальные условия эксплуатации:

температура окружающего воздуха ПСАС-Т-40-
+100°C±5°C; ПСАС-Т-4--01 - +60°C±5° С;
относительная влажность воздуха - 30 - 80%
атмосферное давление - от 86,6 до 106,7кПа.

Датчики сохраняют герметичность при действии внешнего давления до 0,5Мпа.

Для уменьшения суммарной приведенной погрешности датчиков до предела ±4% было решено выпустить два типа датчиков ПСАС-Т-40 и ПСАС-Т-40-01.

Первый тип предназначен для работы при температуре от 10°C до 110°, второй тип - для работы при температуре от 50°C и выше.

Установка датчиков ПСАС-Т для замены вышедших из строя ПСАС начата в 1996 году.

На рис.2-4 приведены графики работы датчиков ПСАС и ПСАС-Т в «горячих» помещениях Курской АЭС. Эти данные подтверждают высокую надежность датчиков ПСАС и ПСАС-Т для своего диапазона температур, а также возможность использования обычных датчиков, предназначенных для работы при температуре до +40°C и при температуре до +60°C.

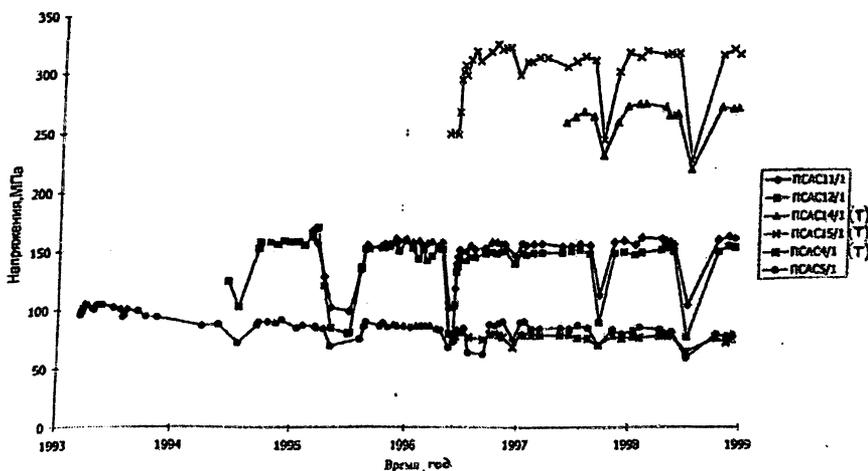


Рис.2. Напряжения в арматуре.

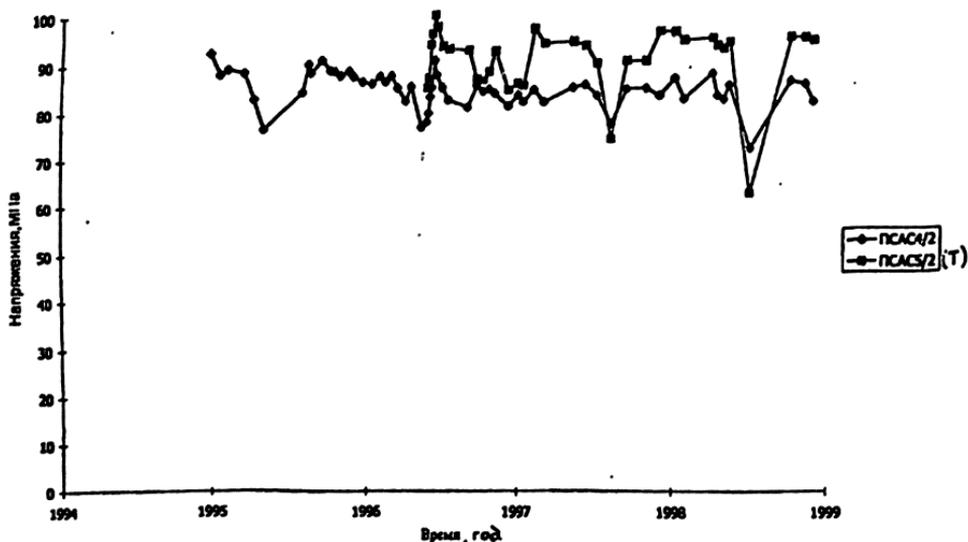


Рис.3. Напряжения в арматуре

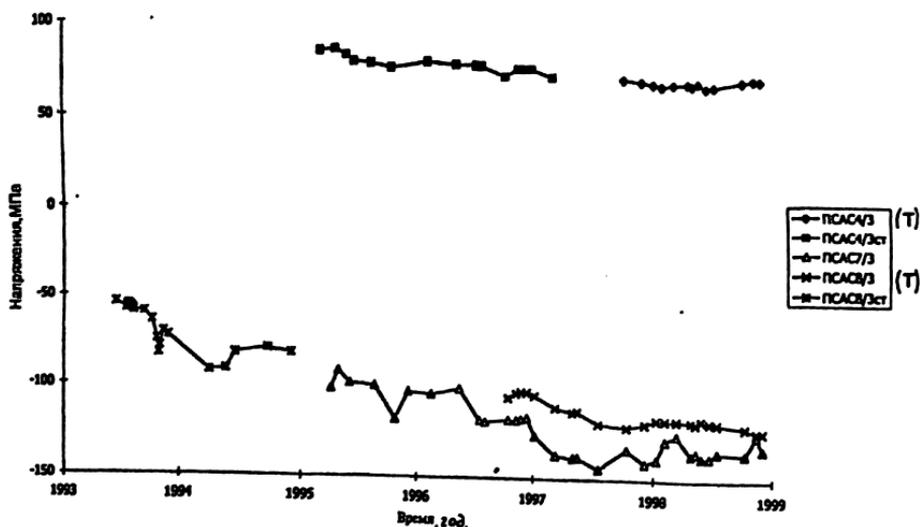


Рис.4. Напряжения в арматуре

Выводы:

1. Проведенные в течении шести лет натурные исследования с применением датчиков ПСАС показали надежность их работы в условиях высоких температур до 60°C , что существенно увеличивает диапазон их применения.

2. Впервые разработаны струнные датчики напряжения в арматуре железобетонных конструкций ПСАС-Т, работающие в «горячих» помещениях атомных станций.

3. Проведенные заводские и натурные испытания датчиков подтвердили метрологические и технические характеристики, заданные нормативно-технической документацией на них.

4. На основании полученных результатов испытаний можно рекомендовать датчики ПСАС-Т для постановки на промышленное производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марчук А.Н. Статическая работа бетонных плотин. М.: Энергоатомиздат. 1983.

2. Угинчус А.А., Бомбчинский В.П. Контрольно-измерительная аппаратура гидротехнических сооружений. М.: Издательство литературы по строительству и архитектуре. 1954.

3. Усачев. И.Н. Результаты 30-летнего мониторинга морских бетонов и наплавной конструкции Кислогубской ПЭС в условиях Крайнего Севера. // Гидротехническое строительство 1998. №12

4. СНиП 2.03.04-84 Бетонные и железобетонные конструкции, работающие в условиях повышенных температур.

5. Ильин Ю.А., Рубин О.Д. Обеспечение безопасной эксплуатации помещений АЭС. // Безопасность энергетических сооружений. М.: НИИЭС. 1998. вып. 2-3.

6. ОСТ 3472.965-96 Преобразователи измерительные струнные для объектов энергетики. Общие технические требования. Отраслевой стандарт.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОГО И СЕЙСМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ - ОБОРУДОВАНИЕ» ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

*А.М. Белостоцкий, доктор технических наук, Б.М. Чамов,
И.К. Чамов, инженеры (ЗАО НИЦ СтаДиО, АО НИИЭС)*

1. В данной статье рассматриваются некоторые важные аспекты расчетного обоснования сейсмостойкости пространственной комбинированной системы «сепараторы пара (СП) - опорные металлоконструкции - строительные конструкции» реакторного отделения 5-го энергоблока Курской АЭС, выполненного с применением развитого программно-алгоритмического комплекса СТАДИО [1,2]. Предварительные линейно-спектральные расчеты по упрощенным стержневым моделям

«СП - опорные конструкции» показали, что критерии сейсмоч прочности исходного проектного варианта этой системы, критически важной для безопасности АЭС, не удовлетворены для узлов «сепаратор - центральная опора» и «опоры - перекрытие». Сейсмостойкость системы конструктивно может быть обеспечена установкой между СП и строительными конструкциями (стенами бокса) дополнительной специальной опоры, главными условиями работы которой являются:

возможность нестесненного движения СП при любых эксплуатационных режимах (дополнительная опора не участвует в работе);

наложение динамической связи на перемещения сечения СП (в зоне опоры) при сейсмических воздействиях.

На основании изложенного решение проблемы реализовано в следующей последовательности:

1) анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) исследуемой связанной системы при действии статических (силовых и температурных) нагрузок для заданных эксплуатационных режимов с определением относительных перемещений СП и строительных конструкций;

2) анализ движения СП совместно с опорными металлоконструкциями относительно строительных конструкций при сейсмическом воздействии с определением, в том числе, усилий (сил и моментов) в дополнительной специальной опоре.

В конструкции дополнительной антисейсмической опоры должны быть предусмотрены зазоры (люфты), обеспечивающие возможность свободного взаимного перемещения СП и стенок бокса при эксплуатационных режимах. Величины этих зазоров определяются по результатам анализа статического НДС [1].

Решение статической задачи проведено для следующих эксплуатационных режимов: гидроиспытания (I), разогрев (II), номинальный (III), расхолаживание (IV) и аварийное давление в боксе (V). Основные параметры указанных режимов представлены в таблице 1

Штатные опорные металлоконструкции допускают следующие степени свободы СП:

центральная опора - в вертикальном направлении;

четыре периферийные (боковые) опоры в горизонтальной плоскости: вдоль оси сепаратора с учетом трения качения; поперк оси с учетом (и без) трения скольжения. Обеспечена возможность отрыва СП от любой из периферийных опор. Связи между

коробами КГО и площадкой на отметке 35,6м допускают свободные перемещения и поворот вдоль и вокруг осей коробов.

Таблица 1

Основные параметры эксплуатационных режимов в боксе СП.

П а р а м е т р ы	эксплуатационного режима				
	I	II	III	IV	V
Температура среды, °С	20	80	285	285	20
Вес сепаратора пара, т	434	389	389	389	-
Избыточное давление, кг/см ²	-	-	-	-	0.03
Нет связи с опорами по осям	-	27,31	-	28,30	-

Связь штатных опорных конструкций с элементами строительных конструкций бокса СП осуществляется:

по основанию бокса (перекрытие на отметке 30,6м в/о Е-Н, 26 -33) с центральными опорами - жестко, с шестью периферийными (для каждого из сепараторов) - шарнирно в плоскостях, перпендикулярно оси СП;

со стеной по оси 26 коробами КГО на отметке 36,33м (центры сечений коробов) в/о Е-И - жестко.

Предусмотрены сейсмические связи СП 21 со стеной по ряду И, СП 22 - по ряду Е через горизонтальные дополнительные опоры, обладающие шарнирами относительно продольной горизонтальной оси.

Квазистатические нагрузки от действия основных технологических систем и оборудования включают: нагрузки от реактора; нагрузки в шахте опускных трубопроводов; постоянные нагрузки на элементы строительных конструкций. Температурные поля в «горячих» помещениях строительных конструкций приняты установившимися. Влияние трубопроводов обвязки СП при расчетных эксплуатационных режимах задаются их нагрузками на патрубки СП и элементы строительных конструкций бокса.

2. Расчетный фрагмент системы «строительные конструкции - СП с опорными и ограждающими конструкциями» схематизирован естественной суперэлементной моделью.

Суперэлемент 1 (рис.1а) - представительный фрагмент строительных конструкций блока А. В связи с имеющейся симметрией основных элементов исследуемой системы реакторного отделения «СП - строительные конструкции» относительно вертикальной плоскости по ряду Л в качестве расчетного

фрагмента принята часть энергоблока в/о Г-Л (СП-21, СП-22) с отметки 12,5м до отметки 57,6м, при этом реакции отброшенных частей компенсируются граничными условиями (в вертикальной плоскости по ряду Л - симметрией, в горизонтальной на отметке 12,5м - заделкой) и соответствующими силовыми факторами (на отметке 57,6 от конструкций шатра и выхлопных шахт). Принятое ограничение расчетного фрагмента по высоте существенно упрощает математическую модель строительных конструкций и сводит возникающую погрешность определения НДС системы к величине, не превышающей точность задания исходной информации.

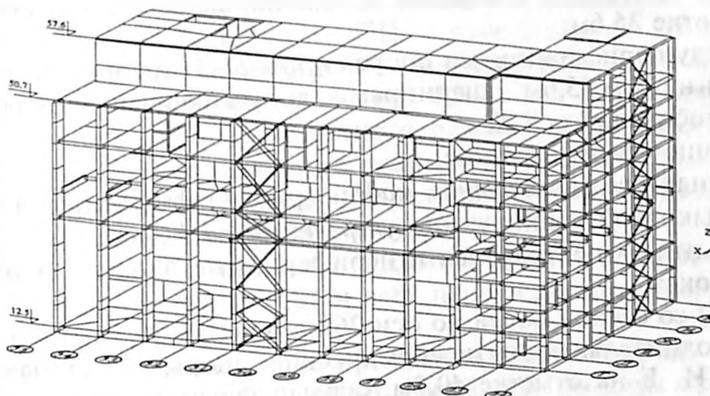
Пространственная конечноэлементная модель фрагмента строительных конструкций, описывающая геометрико-жесткостные и инерционные характеристики сооружения, имеет нерегулярную сетку, состоящую из 1830 узлов (10980 степеней свободы) и 3341 конечного элемента, из которых 2608 плитные, в основном, четырех - и треугольные конечные элементы суперпараметрического семейства, воспроизводящие гипотезы Тимошенко, разделенные на 121 унифицированную группу материалов. 733 стержневых конечных элемента разделены на 79 унифицированных групп материалов.

Суперэлементы 2 и 3 (рис.16) - пространственные стержневые конечноэлементные модели сепараторов пара СП 21 и СП 22 с опорными и ограждающими металлоконструкциями соответственно, детально описывающие геометрические, жесткостные и инерционные характеристики. Каждый *суперэлемент* содержит 271 узел (1626 степеней свободы) и стержневые конечные элементы (СКЭ): 405 - *суперэлемент 2*, 401 - *суперэлемент 3*. Все СКЭ разбиты на 22 унифицированные группы материалов. Расчетные параметры унифицированных групп материалов определены с учетом условий 1), 3), 5), при этом жесткость настила площадок обслуживания не учитывалась, а вес равномерно распределялся по соответствующим балкам силового набора.

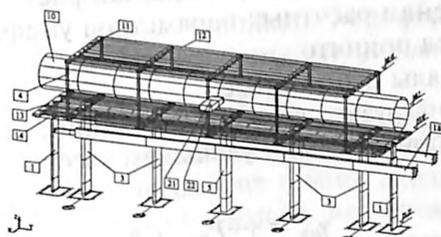
Связи между конечными элементами для *суперэлементов 2 и 3* приняты:

опорных металлоконструкций с сепараторами пара - в соответствии с упомянутыми реальными условиями; пространственное расположение связей обеспечено «абсолютно жесткими» невесомыми стержневыми вставками (СКЭ), не искажающими реальной работы конструкции;

а) Суперэлемент 1



б) Суперэлемент 2(3)



в) Фрагмент суперэлементной модели

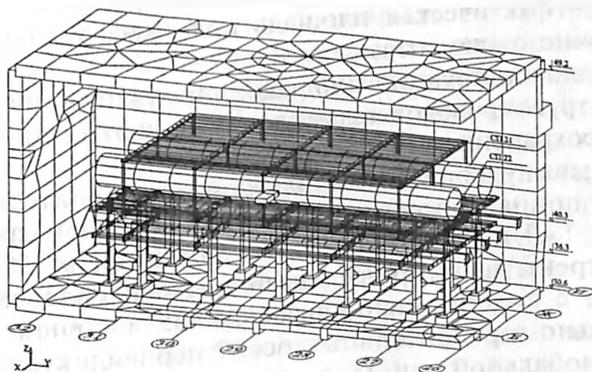


Рис.1. Пространственная система «строительные конструкции - оборудование» энергетического сооружения при статических и сейсмических воздействиях

опорных металлоконструкций с элементами строительных конструкций бокса и коробов КГО с площадкой обслуживания на отметке 35,6м;

между периферийными опорами в/о 27-31 и горизонтальной балкой на отм.35,6м - шарнирами, допускающими поворот вокруг глобальной оси X ;

прочие связи - жесткие.

Единая суперэлементная модель (рис.1в) формируется жесткой стыковкой общих узлов суперэлементов 1,2 и 3:

«штатные» центральная и периферийные опоры с перекрытием бокса;

КГО со стеной бокса по оси 26 на отметке 36,3м;

дополнительные антисейсмические опоры со стенами по рядам И, Е на отметке 40,3м. Каждый суперэлемент при задании соответствующих граничных условий и внешних воздействий может быть также и самостоятельной расчетной моделью.

При определении расчетных параметров унифицированных групп материалов принято:

1) все материалы изотропные;

2) полезные нагрузки, вес теплоизоляции, биозащиты и т.п. моделируются приведенным удельным весом материалов по формулам:

$$\begin{aligned} \gamma_{np} &= \gamma + P_{np} / h; \\ P_{np} &= \sum P_i S_i / S, \end{aligned}$$

где γ - фактический удельный вес; h - толщина КЭ; P_{np} - приведенная нагрузка; P_i - фактическая нагрузка на « i »-м участке КЭ; S_i - фактическая площадь под P_i нагрузкой; S - площадь конечного элемента;

3) металлоконструкции площадок обслуживания в шахтах опускных трубопроводов «размазаны» по соответствующим сечениям с сохранением общего веса

Связи между конечными элементами строительных конструкций приняты жесткими, за исключением перекрытий в/о 24-26, Г-Л на отметках 31,1м, 39,5м, 43,5м, 50,7м. Здесь предусмотрены шарнирные связи ригелей силового каркаса обстройки с колоннами по осям 24, 25 и стеной по оси 26 относительно горизонтальных осей? перпендикулярных осям ригелей(глобальной оси X), а также шарниры между плитами перекрытий и ригелями относительно продольных осей последних (глобальной оси Y). При этом плиты перекрытий в пролетах отрезаны от плоскостей стен.

3. Выборочные результаты многовариантных расчетов квазистатического напряженно-деформированного состояния комплексной системы «СП - строительные конструкции» - взаимные перемещения характерных узлов СП 21, СП 22 и близлежащих узлов стен бокса для определяющего номинального эксплуатационного режима - представлены в таблицах 2,3. Максимальные взаимные горизонтальные перемещения (в зоне установки предполагаемых дополнительных опор) СП и стен бокса достигают:

13,4мм - при номинальном режиме в предположении совместного деформирования СП и всех периферийных опор поперек оси СП;

16,0мм - при номинальном режиме в предположение скольжения (без трения) СП поперек своей оси по двум крайним периферийным опорам (таблица 1).

Более обоснованным является второй результат, т.к. для КЭ, моделирующих связи «крайняя периферийная опора - СП», с большим «запасом» выполняется условие скольжения:

$$Q_x > k N_z,$$

где Q_x - поперечная (сдвигающая) сила, N_z - осевая (прижимающая) сила, k - коэффициент трения скольжения, $k=0,3$.

Важным в методическом смысле является установленное расчетами сильное влияние температурных перемещений строительных конструкций, прежде всего плиты перекрытия бокса на результирующее НДС всей системы, определяющее указанные требования к конструкции дополнительной опоры. Тем самым подтверждена необходимость рассмотрения комплексной системы «СП - строительные конструкции».

4. В таблицах 4 - 6 представлены вычисленные блочным методом Ланцоша [1] энергетически значимые собственные частоты и формы колебаний следующих динамических моделей:

1) таблица 4 - шесть «парциальных» моделей инерционного СП 21 (суперэлемент 2) с жестким креплением опор к строительным конструкциям; первые три модели соответствуют вариантам без дополнительной опоры, остальные - с дополнительной боковой антисейсмической опорой;

2) таблица 5 - безынерционные строительные конструкции (суперэлемент 1) + инерционные СП 21, СП 22 (суперэлементы 2, 3) без дополнительной опоры;

Таблица 2
Номинальный режим. Расчетные перемещения для СП 21. Модель свободного скольжения СП по крайним периферийным опорам.

Узел стены	Перемещения стены (X, Y, Z), мм	Узел СП	Перемещения СП (X, Y, Z), мм	Взаимное перемещение (X, Y, Z), мм	
1007	0.487	68	-10.40	-4.563	-15.450
	-2.071		-51.65		-49.580
	1.728		34.21		32.482
1008	1.497	69	-10.23	-4.563	-16.290
	-1.204		-40.45		-39.246
	1.478		35.20		33.722
1010	2.143	71	-9.91	-4.563	-16.616
	0.271		-19.78		-19.509
	0.620		36.77		36.150
1012	1.726	73	-9.65	-4.563	-15.939
	1.655		0.885		-0.770
	0.357		37.12		36.764
1014	1.599	75	-9.41	-4.563	-15.572
	3.099		21.55		18.451
	0.909		36.62		35.712
1016	0.684	77	-9.21	-4.563	-14.457
	4.926		42.22		37.294
	2.119		35.04		32.921
1017	0.157	78	-9.10	-4.563	-13.820
	5.780		53.42		47.640
	2.040		34.07		32.030

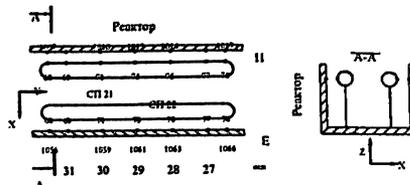


Таблица 3
Номинальный режим. Расчетные перемещения для СП 22. Модель свободного скольжения СП по крайним периферийным опорам.

Узел стены	Перемещения стены (X, Y, Z), мм	Узел СП	Перемещения СП (X, Y, Z), мм	Взаимное перемещение (X, Y, Z), мм	
1056	0.982	68	10.68	+ 4.563	14.261
	-1.535		-51.05		-49.515
	2.648		36.09		33.442
1057	0.348	69	10.44	+ 4.563	14.655
	-0.922		-39.86		-38.938
	3.013		36.67		33.657
1059	-0.118	71	10.04	+ 4.563	14.721
	0.280		-19.19		-18.910
	3.484		37.54		34.056
1061	-0.349	73	9.70	+ 4.563	14.612
	1.349		1.482		0.133
	3.623		37.56		33.937
1063	-0.120	75	9.41	+ 4.563	14.093
	2.452		22.15		19.698
	3.399		37.12		33.721
1065	0.733	77	9.18	+ 4.563	13.010
	3.699		42.82		39.121
	2.906		35.92		33.014
1066	1.599	78	9.06	+ 4.563	12.024
	4.404		54.01		49.606
	2.666		35.17		32.504

Таблица 4

Вычисленные парциальные собственные частоты f_i (Гц) суперэлемента 2

i	«Штатные» опоры			С дополнительной опорой		
	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5	Модель 6
1	0.19	1.71	1.72	1.79	3.06	3.07
2	1.80	2.24	2.24	3.07	3.72	3.72
3	1.89	3.10	3.10	3.69	4.10	4.10
4	3.10	3.80	3.80	4.17	4.62	4.63
5	3.72	4.08	4.08	4.94	4.97	4.97
6	4.16	4.65	4.65	5.09	5.23	5.23
7	4.94	4.98	4.98	5.68	5.77	5.77
8	5.26	5.27	5.28	5.92	5.97	5.97
9	5.69	5.77	5.77	5.93	6.03	6.03
10	5.92	5.99	5.99	6.09	6.10	6.10
11	5.93	6.03	6.03	6.61	6.62	6.62
12	6.09	6.10	6.10	7.12	7.12	7.12
13	6.62	6.62	6.62	7.45	7.51	7.51
14	7.12	7.12	7.12	7.54	7.54	7.54
15	7.44	7.52	7.52	8.30	8.63	8.63
16	7.54	7.54	7.54	9.31	9.31	9.31
17	9.31	9.31	9.31	9.58	9.57	9.61
18	9.54	9.93	9.93	9.62	9.93	9.93
19	9.69	10.03	10.04	9.75	10.47	10.49
20	9.93	11.42	11.42	9.93	11.48	11.48
21	10.18	11.58	11.59	10.77	11.61	11.61
22	11.41	11.61	11.61	11.54	11.76	11.76
23	11.61	11.67	11.67	11.61	11.99	11.99
24	11.90	11.97	11.97	11.94	12.19	12.20
25	12.00	12.32	12.32	12.01	12.86	12.87
26	12.48	12.52	12.55	13.17	13.31	13.32
27	12.76	13.97	13.97	13.43	14.18	14.18
28	13.43	14.18	14.18	13.56	14.49	14.49
29	13.92	14.48	14.48	14.18	14.58	14.58
30	14.18	14.58	14.58	14.37	14.78	14.78
31	14.38	14.92	14.92	14.50	15.10	15.10
32	14.51	15.10	15.10	14.72	15.14	15.14
33	14.74	15.13	15.13	14.75	15.19	15.19
34	14.83	15.20	15.21	15.10	15.27	15.27
35	15.10	15.37	15.37	15.58	15.77	15.77
36	15.56	15.74	15.75	15.84	15.91	15.91
37	15.83	15.92	15.92	15.97	15.99	15.99
38	15.98	16.01	16.01	16.20	16.21	16.21
39	16.21	16.21	16.21	16.44	16.95	16.95
40	16.40	16.95	16.95	16.67	17.20	17.20
41	16.67	17.20	17.20	16.95	17.70	17.70
42	16.95	17.74	17.74	17.20	18.53	18.53
43	17.20	18.53	18.53	17.58	18.74	18.76
44	17.64	18.69	18.72	18.53	19.12	19.13
45	18.51	19.10	19.10	18.57	19.83	19.83
46	18.53	19.83	19.83	18.63	19.85	19.85
47	18.60	19.83	19.83	19.29	20.29	20.29
48	19.28	20.29	20.29	19.73	20.35	20.35
49	19.71	20.35	20.35	19.85	20.50	20.50
50	19.85	20.50	20.50	20.20	20.64	20.64

3) таблица 6 - инерционные элементы строительных конструкций только бокса (часть суперэлемента 1) + безынерционные СП 21 и СП 22 без дополнительных опор.

Сопоставление данных таблиц 5 и 4 показывает слабое влияние податливости крепления опор и КГО к боксу на значимый спектр собственных частот и форм СП. Этот вывод позволил при расчете сейсмической реакции рассматривать упрощенные несвязанные модели СП 21 и СП 22, учитывая все 50 вычисленных низших значимых частот и форм.

Модель, представленная в табл. 6, использовалась для сейсмического расчета НДС бокса (без дополнительной опоры).

5. По линейно-спектральной методике вычислены перемещения характерных узлов СП 21, СП 22 (без дополнительных опор) и близлежащих узлов стен бокса при сейсмических воздействиях, заданных по направлениям глобальных осей X , Y и Z спектрами ответа для отм.30,6 реакторного отделения. Как и следовало ожидать из физических предпосылок, максимальные сейсмические перемещения при воздействии по оси X (поперек оси СП) возникают по этой же оси и достигают:

- $\pm 14,22$ мм для сепараторов в зоне центральной опоры;
- $\pm 1,83$ мм для стены в осях И (напротив СП 21);
- $\pm 0,25$ мм для более жесткой стены Е (напротив СП 22).

Помимо чисто количественного интереса эти результаты свидетельствуют о том, что предлагаемые дополнительные горизонтальные опоры могут либо не включиться, либо не полностью включиться в динамическую работу, если будут сконструированы с зазорами, принятыми на основании статических расчетов. Таким образом, дополнительные опоры смогут выполнить свои функции, если будут содержать вязко-упругие, демпферные элементы.

В таблице 7 приводится выборка максимальных сейсмических сил и моментов в опорных конструкциях СП 21 для трех моделей со «штатными» опорами и трех моделей с дополнительными опорами (в предположении, что конструкция дополнительных опор позволяет включаться в сейсмическую работу полностью).

На рисунках цветной вкладки показаны распределения значимых погонных сейсмических моментов в стенах и перекрытиях бокса СП без дополнительных опор.

Таблица 5

Вычисленные собственные частоты и формы колебаний комплексной системы «СП без дополнительных опор – безынерционные строительные конструкции» .

<i>i</i>	Частота, Гц	Формы колебаний
1	1.661	Первая консольная «СП 22–обстройка» по <i>У</i>
2	1.677	Первая консольная «СП 21–обстройка» по <i>У</i>
3	2.133	Первая консольная «СП 22–обстройка» по <i>Х</i>
4	2.170	Первая консольная «СП 21–обстройка» по <i>Х</i>
5	3.095	Консольная обстройки СП 22 по <i>У</i>
6	3.095	Консольная обстройки СП 21 по <i>У</i>
7	3.792	Консольная обстройки СП 22 по <i>Х</i>
8	3.795	Консольная обстройки СП 21 по <i>Х</i>
9	4.029	Вращение «СП 22–обстройка» вокруг центральной опоры
10	4.044	Вращение «СП 21–обстройка» вокруг центральной опоры
11	4.528	Сложная связанная пространственная форма
12	4.557	Сложная связанная пространственная форма
13	4.984	Сложная связанная пространственная форма
14	4.984	Сложная связанная пространственная форма
15	5.271	Сложная связанная пространственная форма
16	5.765	Сложная связанная пространственная форма
17	5.766	Сложная связанная пространственная форма
18	5.990	Сложная связанная пространственная форма
19	6.024	Сложная связанная пространственная форма
20	6.274	Сложная связанная пространственная форма

Таблица 6

Вычисленные собственные частоты и формы колебаний бокса СП (без дополнительных опор)

<i>i</i>	Частота, Гц	Формы колебаний
1	8.845	Первая «консольная» изгибная стены по <i>И</i>
2	10.068	Смещение всего бокса вдоль оси СП при изгибных колебаниях стен по <i>И</i> и <i>Е</i>
3	11.989	Вторая «консольная» изгибная стены по <i>И</i>
4	13.918	Первая изгибная перекрытия отм.50.6 м
5	17.629	Вторая изгибная перекрытия отм.50.6 м
6	19.395	Сложная связанная пространственная форма
7	21.074	Сложная связанная пространственная форма
8	22.248	Сложная связанная пространственная форма
9	23.748	Сложная связанная пространственная форма
10	25.224	Сложная связанная пространственная форма

Таблица 7

Вычисленные сейсмические реакции F/M в опорных конструкциях СП 21

Опора (связь)	Сейсмо- воздействие	«Штапные» опоры						С дополнительной опорой															
		Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5	Модель 6	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5	Модель 6										
1 Центральная под СП	X	507.6/ 895.6	230.0 / 719.3	230.0/ 719.3	52.5/132.6	56.8/206.3	52.5/206.3	X	448.2/1419.0	377.6 /1438.0	478.1/1477.0	210.0/244.0	176.8/157.3	129.9/140.6	Z	19.5/ 48.5	19.5 / 18.4	19.5/ 18.4	19.5/ 54.2	19.5/ 22.2	19.5/ 22.1		
	Y	5.5/ 621.7	259.1 / 600.5	259.0 / 600.5	20.5/110.2	30.2/149.1	30.2/149.1		97.3/ 166.1	94.5 / 17.5	103.7 / 24.1	32.9/ 73.2	190.1/ 662.8	189.6/661.3		10.1/ 25.9	5.1/ 41.8	11.4 / 20.3	11.3 / 20.3	8.8/ 40.9	10.1/ 26.0	10.1/ 25.9	
	Z	387.8/2277.0	276.0 /2665.0	276.0 /2665.0	34.5/ 91.9	45.1/117.2	45.1/117.2		562.7/1967.0	479.5 /1737.0	478.7 /1734.0	79.1/ 224.6	92.9/259.2	90.9/253.9		23.3/ 26.6	23.3/ 38.6	25.0 / 28.4	24.8 / 28.3	22.5/ 33.5	22.5/ 33.5	23.2/ 26.7	23.3/ 26.6
3 Центральная с перекрытием	X	85.8/ 882.9	221.9 /2153.0	221.8/2153.0	49.8/212.7	65.2/290.0	65.2/290.0	X	114.2/ 14.2	108.9 / 20.9	118.3/ 20.9	36.0/ 143.3	209.1/871.6	208.6 /856.2	Y	24.5/ 69.3	26.3 / 25.9	26.2/ 25.9	24.9/ 69.1	26.4/ 31.2	26.4 / 31.1		
	Y	8.1/ 60.3	8.0 / 76.4	8.0/ 76.5	6.7/ 28.3	7.4/ 29.3	7.4/ 29.3		8.1/ 60.3	0.3/ 1.4	0.3 / 1.1	0.3/ 1.1	2.9/ 11.5	2.7/ 12.8		2.7/ 12.8	0.3/ 1.4	3.1 / 13.7	3.1/ 13.6	5.3/ 24.2	3.5/ 15.6	3.5/ 15.6	
	Z	6.6/ 30.3	3.1 / 13.7	3.1/ 13.6	5.3/ 24.2	3.5/ 15.6	3.5/ 15.6		24.5/ 69.3	6.6/ 30.3	3.1 / 13.7	3.1/ 13.6	5.3/ 24.2	3.5/ 15.6		3.5/ 15.6	6.6/ 30.3	3.1 / 13.7	3.1/ 13.6	5.3/ 24.2	3.5/ 15.6	3.5/ 15.6	
5 КГО со стеной	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-		
	Y	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
	Z	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
6 Дополнитель- ная со стеной	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	-		
	Y	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
	Z	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: модель 1 - СП свободно скользит по периферийным «штатным» опорам; модель 2 - СП свободно скользит по периферийным «штатным» опорам вдоль оси, заклинен - поперек оси СП; модель 3 - СП «заклинен» на периферийных «штатных» опорах; модель 4 - модель 1 с дополнительной опорой; модель 5 - модель 2 с дополнительной опорой; модель 6 - модель 3 с дополнительной опорой; F - силы, кН; M - моменты, кН·м; X - поперек оси СП; Y - вдоль оси СП; Z - вертикальная ось.

6. По результатам выполненных многовариантных расчетных исследований статического и сейсмического напряженно-деформированного состояния комплексной пространственной системы «СП с опорными конструкциями – строительные конструкции» реакторного отделения 5-го энергоблока Курской АЭС можно сформулировать следующие основные выводы:

1) сейсмочпрочность исходного проектного варианта системы требует детального обоснования ввиду действия значительных расчетных горизонтальных нагрузок, передающихся от СП 21 и СП 22 на «штатные» опорные и строительные конструкции бокса.

2) дополнительные горизонтальные антисейсмические опоры, устанавливаемые в центральной зоне СП 21 и СП 22, должны обеспечивать следующие свободные квазистатические взаимные перемещения своих узлов крепления к СП и стенам бокса для пяти расчетных эксплуатационных режимов: до 16,0 мм по своей оси (навстречу друг другу); до 1мм поперек оси; до 37мм в вертикальном направлении.

3) дополнительные антисейсмические опоры существенно (на порядок) снижают максимальные сейсмические нагрузки на «штатные» опоры. При этом вычисленные сейсмические нагрузки на дополнительные опоры должны быть восприняты и обеспечены узлами их крепления к СП и стенам бокса. С учетом выявленной расчетами возможностью неполного включения дополнительных опор в сейсмическую работу системы следует предусмотреть в конструкциях этих опор вязко-упругие демпферные элементы.

4. полученных расчетных результатов достаточно для детального конструирования дополнительных антисейсмических опор, включая узлы крепления к СП и стенам бокса. После уточнения мест крепления и конструкции этих опор должна быть выполнена серия уточняющих поверочных расчетов системы «СП – строительные конструкции» на сейсмические воздействия с оценкой прочности основных конструктивных элементов.

Представленные в данной статье постановка, методика и результаты расчетных исследований выходят за рамки пусть и важной, но частной задачи, и могут быть распространены на большой класс практических задач статического и динамического расчета систем строительные конструкции - оборудование на гибких опорных конструкциях энергетических объектов, требующих совместного рассмотрения подсистем в рамках

единой, естественной и легко видоизменяемой суперэлементной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белый М.В., Белостоцкий А.М.* Численное решение трехмерных задач об одностороннем контакте с трением для упругих систем. //Сб. научных трудов МГСУ и НИЦ СтаДиО. Численные и аналитические методы решения прикладных задач. 1998.
2. *Белостоцкий А.М., Чамов Б.М., Чамов И.К.* Статический и динамический расчет реальной трехмерной системы «бетонное сооружение - скальное основание» при учете нелинейных эффектов открытия-закрытия швов и макротрещин. //Сб. научных трудов МГСУ и НИЦ СтаДиО. Численные и аналитические методы решения прикладных задач. 1998.

БЕЗОПАСНОСТЬ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПОСТАНОВКЕ.

Рассказов Л.Н.-доктор техн. наук, *Бестужева А.С.* - кандидат техн. наук, *Абарин А.М.*- инженер (МГСУ)

Исследование напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин от действия сейсмических сил является одним из важнейших этапов проектирования плотин в сейсмически активных районах. Расчеты гидротехнических сооружений на сейсмические воздействия в плоской и пространственной постановках проводились на основе динамического метода, основанного на решении полных динамических уравнений совместно с физическими уравнениями состояния грунта, описываемых «энергетической» моделью, предложенной Л.Н. Рассказовым. В этой модели учитываются упругие, пластические, а также реологические свойства грунта.

Решение динамической задачи сводится к решению уравнения вынужденных колебаний системы с затуханием на внешнее воздействие, заданное в виде акселерограмм, которое имеет вид:

$$[M]\{\ddot{r}\} + [C]\{\dot{r}\} + [K]\{r\} = -\{M_x\}\ddot{U}_x(t) - \{M_y\}\ddot{U}_y(t) - \{M_z\}\ddot{U}_z(t) \quad [1]$$

где $[M]$, $[C]$, $[K]$ - соответственно матрицы масс, затухания, жесткости;

$\{\Gamma\}$ - вектор смещения узловых точек относительно неподвижного основания;

$\{M_x\}$, $\{M_y\}$, $\{M_z\}$ - столбцы масс, определяющие инерционные нагрузки по координатным осям X, Y, Z;

$\ddot{U}_{ox}(t)$, $\ddot{U}_{oy}(t)$, $\ddot{U}_{oz}(t)$ - компоненты сейсмических ускорений по координатным осям X, Y, Z.

Одна из задач данной работы заключалась в выявлении влияния на состояние грунтовой плотины составляющей ускорения от борта к борту (\ddot{U}_{oz}). Таким образом, сопоставлялись между собой две пространственные задачи ($\ddot{U}_{oz}=0$ и $\ddot{U}_{oz}(t)\neq 0$) и первая из этих пространственных постановок с задачей плоской деформации.

Расчетная конструкция представлена грунтовой плотиной с наклонным ядром. Плотина имеет высоту 239,5м, толщина аллювиального слоя основания 10,5м. Упорные призмы выполнены из гравийно-галечникового грунта (модуль объемной деформации при $\sigma=1\text{кг/см}^2$ $E_0=2460\text{кг/см}^2$, объемный вес $\gamma=2,2\text{т/м}^3$), противофильтрационным элементом служит ядро из суглинки (модуль объемной деформации при $\sigma=1\text{кг/см}^2$ $E_0=1270\text{кг/см}^2$, объемный вес $\gamma=2,0\text{т/м}^3$). Крепление откосов произведено горной массой (толщина 10м). Уровень воды в водохранилище принят на отметке 240,0м. Сетка МКЭ включает в себя 462 треугольных элемента в плоской задаче и 3696 пятигранных элементов для пространственной задачи (каньон разбит на 8 сечений) (рис.1).

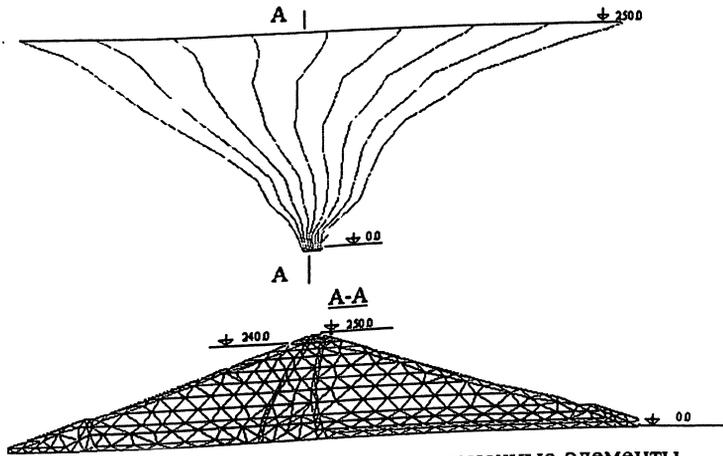


Рис.1. Разбивка плотины на конечные элементы.

При назначении динамических характеристик грунтов плотины (динамического модуля упругости и коэффициента Пуассона) были использованы данные о скоростях распространения упругих волн в грунтах в зависимости от глубины залегания (табл.1) [2].

В данной работе был произведен расчет тридцати форм собственных колебаний для плоской и пространственной задач. Периоды рассчитанных форм колебаний представлены в таблице 2.

Для пространственной задачи можно отметить значительное сгущение спектра собственных частот колебаний сооружения по сравнению с плоской задачей, что было получено также в [3] для бетонных плотин.

Статическое НДС в плоской и пространственной задачах имеет сходный характер. Максимальные сжимающие напряжения σ_{yy} в основании верховой призмы достигают 20 кг/см^2 , в основании низовой призмы - 35 кг/см^2 . Асимметричный характер распространения напряжений σ_{yy} объясняется взвешивающим действием воды со стороны верхнего бьефа. В основании ядра отмечается концентрация сжимающих напряжений σ_{yy} до 60 кг/см^2 , что может быть объяснено значительной жесткостью грунта противофильтрационного элемента.

Таблица 1

Расчетные значения скоростей распространения упругих волн по высоте плотины (по данным САО Гидропроекта).

Глубина, м	Упорные призмы	Ядро	Каменная наброска
0.0	$V_p=600,$ $V_s=300$	$V_p=500,$ $V_s=200$	$V_p=600,$ $V_s=300$
20.0	$V_p=1000,$ $V_s=470$	$V_p=1100,$ $V_s=450$	$V_p=920,$ $V_s=460$
40.0	$V_p=1200,$ $V_s=560$	$V_p=1320,$ $V_s=530$	
60.0	$V_p=1300,$ $V_s=600$	$V_p=1450,$ $V_s=600$	
120.0	$V_p=1500,$ $V_s=700$	$V_p=1700,$ $V_s=700$	
300.0	$V_p=1780,$ $V_s=900$	$V_p=1800,$ $V_s=760$	

Примечание: V_p - скорость продольных волн, м/с
 V_s - скорость поперечных волн, м/с

Таблица 2

Периоды собственных колебаний плотины
для плоской и пространственной задач

Ф-мы	1	2	3	4	15	16	30
Плоская T, с	1,075	0,765	0,671	0,622	0,382	0,379	0,250
Простр. T, с	1,034	0,824	0,762	0,751	0,523	0,519	0,422

Сейсмический расчет производился на землетрясение силой 9 баллов по расчетным акселерограммам [2]. Продолжительность сейсмического воздействия этих акселерограмм составляет 30 сек, максимальные ускорения для акселерограмм $\ddot{U}_{ox}(t)$, $\ddot{U}_{oy}(t)$, $\ddot{U}_{oz}(t)$ составляет 0,46g, 0,27g, 0,46g (м/с²) соответственно.

Одним из критериев, характеризующих работоспособность сооружения является коэффициент надежности K_n , который определяет запас прочности грунта в любой рассматриваемой точке сооружения по отношению к предельному. В процессе динамического нагружения в каждом элементе плотины происходит изменение прочностного состояния, что связано с накоплением остаточных (ползучих и пластических) деформаций. Это отражается на величине коэффициента надежности (пульсации K_n), который к концу землетрясения отличается от своего начального значения.

На рисунке на цветной вкладке представлено распределение коэффициентов надежности в теле плотины до и после девятибалльного землетрясения для плоской и пространственной задач. Уровень коэффициентов надежности в теле плотины в плоской задаче (рис.а на цветной вкладке) достаточно высок. В низовой упорной призме значение коэффициентов надежности не опускается ниже 3,0 (за исключением локальной зоны на низовом откосе с $K_n = 1,0-1,3$). В верховой упорной призме вблизи напорной грани ядра имеется небольшая область с K_n около 1,0.

В пространственной задаче до землетрясения (рис.б на цветной вкладке) области с минимальными значениями коэффициентов надежности (1,0-1,2) расположены в переходных зонах и в нижней части низовой упорной призмы, вблизи ядра. В нижней части верховой упорной призмы вблизи переходной зоны значения коэффициентов надежности находятся в пределах 1,05-1,4. В ядре и верхней части верховой упорной призмы величины коэффициентов надежности не опускаются ниже 3,0.

После девятибалльного землетрясения область предельного состояния в центральной части упорных призм вблизи ядра для обеих задач (плоской, рис.в, и пространственной, рис.г на цветной вкладке) сократилась, и K_n в них увеличились. Это можно объяснить тем, что грунт в этих областях находится в состоянии всестороннего сжатия, и сейсмическое воздействие приводит к его доуплотнению. Исключение составляют небольшие зоны на верховом и низовом откосах в материале каменной наброски, где для обеих задач значения коэффициентов надежности уменьшились с 3,0-5,0 до 1,5. В задаче, учитывающей три составляющие акселерограммы, после землетрясения произошло значительное снижение K_n в верхней части верховой упорной призмы - со значений, превышающих 10,0, до 1,3-3,0 (рис.д на цветной вкладке).

Помимо коэффициентов надежности, важнейшими критериями, согласно которым может оцениваться работоспособность конструкции при сейсмических воздействиях, являются величины максимальных деформаций или же абсолютные значения остаточных перемещений, накопленных в грунте тела плотины после землетрясения, которые сравниваются с предельно допустимыми (второе предельное состояние). Расчет остаточных перемещений от сейсмического воздействия производится по полным остаточным деформациям, определенным согласно принятой модели грунта.

Эпюры распределения остаточных перемещений в теле плотины после землетрясения показаны на рис.2 и 3.

В плоской задаче (рис.2а) остаточные горизонтальные смещения достигают максимальных значений 0,35м на низовом откосе в месте выхода на поверхность и уменьшаются до 0,11м в низовой упорной призме. В низовой упорной призме эти смещения ничтожны. В ядре остаточные горизонтальные перемещения носят знакопеременный характер, достигая максимальных значений 0,28м.

Остаточные вертикальные перемещения (рис.3а) принимают значения 0,12м в пригребневой зоне и уменьшаются до 0,09м в средней части плотины. В низовой упорной призме наблюдается выпучивание грунта. На низовом откосе величины вертикальных остаточных перемещений достигают 0,14м. В средней части верховой переходной зоны, где отмечается состояние грунта, близкое к предельному ($K_n = 1,02-1,08$), возможны максимальные подвижки до 0,68м.

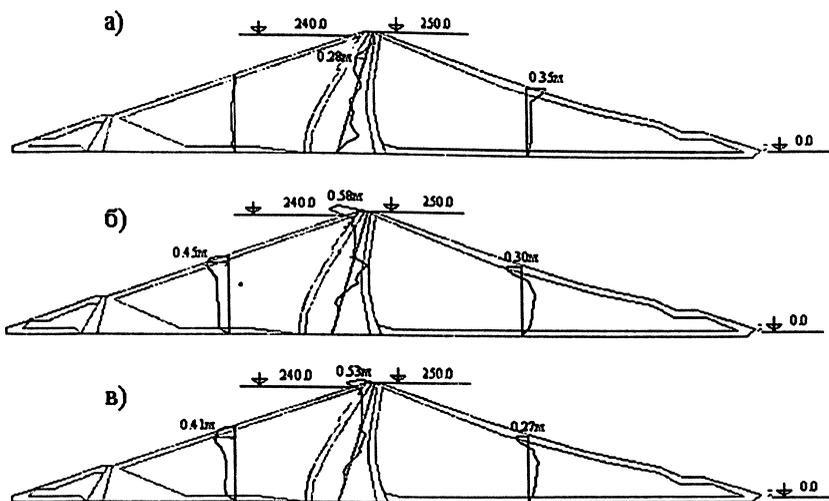


Рис.2. Остаточные горизонтальные перемещения в теле грунтовой плотины после девятибалльного землетрясения.

а)- плоская задача; б)- пространственная задача, учитывались две составляющие акселерограммы; в)- пространственная задача, учитывались три составляющие акселерограммы.

При решении пространственных задач эпюры остаточных горизонтальных смещений схожи. Максимальные смещения получены на гребне (0,53м и 0,57м) в сторону верхнего бьефа для задач, учитывающих две (рис.2б) и три (рис.2в) акселерограммы соответственно. В ядре эпюры остаточных горизонтальных смещений носят знакопеременный характер. В низовой упорной призме смещения не превышают 0,30м и уменьшаются в каменной наброске. На верховом откосе максимальные смещения достигают 0,4-0,45м в сторону верхнего бьефа.

Эпюры вертикальных перемещений в плотине после землетрясения при решении задачи в пространственной постановке показаны на рис.3 (б-д). Для обеих задач средние осадки грунта упорных призм составляют около 10-12см. Осадки в ядре незначительны, максимальные значения 13см получены в пригребневой зоне со стороны низового откоса. Часть пригребневой зоны со стороны верхнего бьефа вспучивается, причем при учете составляющей акселерограммы \ddot{U}_{0z} это вспучивание меньше и сосредоточено исключительно в области верховой переходной зоны.

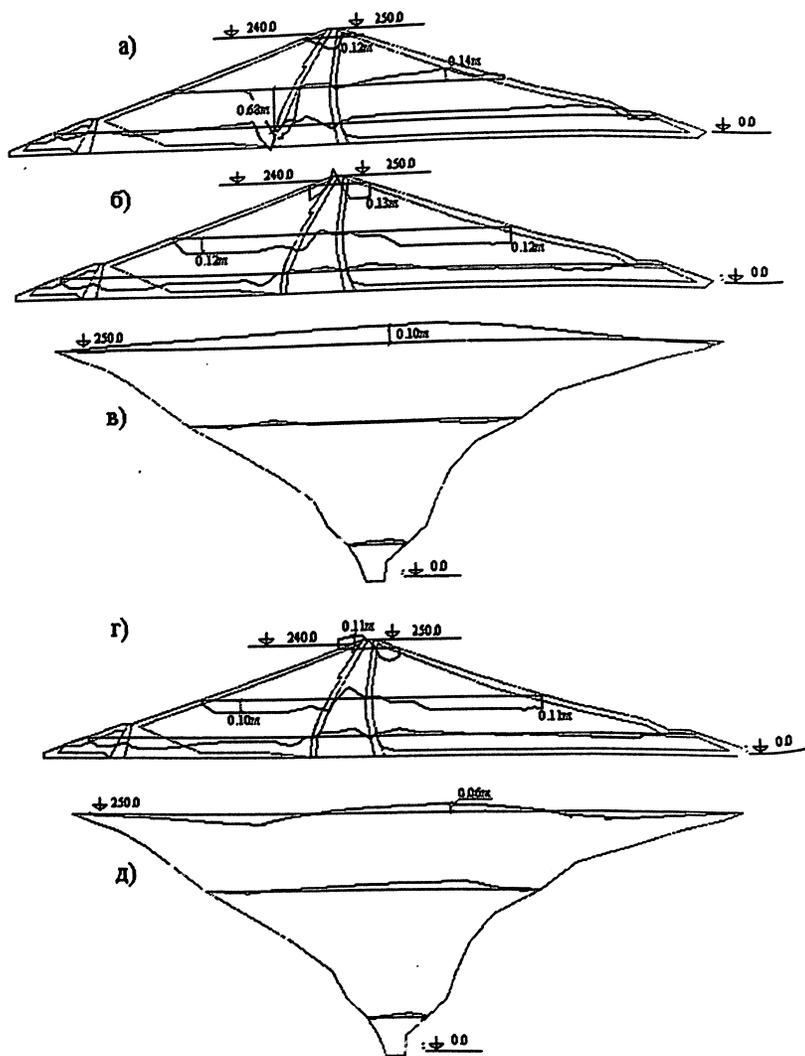


Рис.3. Остаточные вертикальные перемещения в теле грунтовой плотины после девятибалльного землетрясения:
а - плоская задача; б, в - пространственная задача, учитывались две составляющие акселерограммы; г, д - пространственная задача, учитывались три составляющие акселерограммы; (в, д - разрезы по оси ядра).

Анализируя результаты проведенных расчетов грунтовой плотины по различным схемам (плоской и пространственной) при одинаковом сейсмическом воздействии (в расчете участвуют две акселерограммы U_x и U_y), можно отметить следующее.

Решение задачи в пространственной постановке дает отличную от плоской задачи картину прочностного состояния грунта как до, так и после землетрясения. Отмечается, что в отличие от плоской задачи значительная часть упорных призм находится в зоне высоких коэффициентов надежности. Это и боковые области упорных призм, и приоткосные области, где в плоской задаче имеются множественные зоны предельного состояния. Вместе с тем, в центральной части низовой упорной призмы после землетрясения происходит доуплотнение, и коэффициенты надежности повышаются с 1,0 до 1,3. В целом, расчеты показывают, что при среднем заложении откосов 1:2,5 их устойчивость обеспечена с высоким коэффициентом надежности - 5,0 и более. Исключение составляет пригребневая область со стороны низового откоса, где возникает зона предельного состояния, в которой могут наблюдаться разуплотнение, трещины и небольшие (10-13см) просадки грунта.

Остаточные вертикальные перемещения в пространственной задаче характеризуются равномерной осадкой упорных призм 10-12см и незначительными деформациями ядра. Обращает на себя внимание тот факт, что всплеск остаточных перемещений (до 68см осадки в верховой переходной зоне) на эпюрах, представленных на рис.2а и 3а по результатам решения плоской задачи, получен в областях предельного состояния грунта, в то время как в пространственной задаче в этих областях зон предельного состояния нет.

Выводы:

1. Пространственная постановка более полно отражает реальную работу конструкции и позволяет учитывать в расчете геометрию каньона и колебания, распространяющиеся вдоль оси створа.
2. Пространственная постановка демонстрирует более благоприятное распределение коэффициентов надежности в приоткосных зонах плотины после землетрясения, что открывает дополнительные резервы в оптимизации проектного профиля плотины.
3. Динамические остаточные перемещения достигают максимальных значений в пригребневой зоне и на откосах. В верхней части плотины и на откосах величины остаточных дефор-

маций в пространственной задаче меньше значений деформаций для плоской постановки в среднем на 10-15%.

4. Учет сейсмического воздействия, направленного по оси створа, благоприятно влияет на НДС сооружения. Коэффициенты надежности на откосах увеличиваются, и зона, в которой грунт находится в предельном состоянии, локализуется. Остаточные деформации в приоткосной и пригребневой зонах уменьшаются по сравнению с пространственной задачей, учитывающей две составляющие акселерограммы, на 5-10%. Таким образом, учет ускорения, направленного от борта к борту, улучшает работу плотины на действие сейсмических сил за счет увеличения сжимающих напряжений шарового тензора.

ЛИТЕРАТУРА.

1. А. Л. Гольдин, Л. А. Рассказов. Проектирование грунтовых плотин. М.:Энергоатомиздат. 1987.
2. Рассказов Л.Н., Бестужева А. С. К вопросу о сейсмостойкости грунтовых плотин». //Строительная механика и расчет сооружений. М.:Стройиздат. 1989.
3. R. Tinawi, J-F Marchland. «Three Dimensional Static, Thermal and seismic Analysis of Polygonal Gravity Dams». Dam Engineering. Issue 3. October 1994. Volume 5.

ДОСТОВЕРНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОВЕДЕНИЯ СТРОЯЩИХСЯ И ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПЛОТИН

Ляпичев Ю.П., доктор техн. наук (РУДН)

В настоящее время Технический комитет по компьютерным аспектам расчета и проектирования плотин Международной комиссии по большим плотинам (ICOLD) подготовил пятую версию нового бюллетеня «Достоверность и применимость вычислительных программ расчета плотин» [1] и передал ее в Секретариат ICOLD для представления в комитеты стран-участников ICOLD для сбора замечаний и последней редакции бюллетеня и выпуска его в печать к 2000г.

Автор настоящей статьи как член этого комитета ICOLD с 1993г. принял активное участие в разработке этого бюллетеня, отвечая за раздел грунтовые плотины. В данной статье невозможно рассмотреть весь бюллетень, поэтому ниже дана только оценка достоверности численных методов расчета

(МКЭ) или моделирования главных аспектов (явлений) поведения строящихся и эксплуатируемых плотин, которые определяют их безопасность.

Оценка точности алгоритмов и математических моделей материалов плотин основывается на результатах четырех Международных рабочих семинаров ICOLD по численным расчетам плотин, проведенных под эгидой этого комитета ICOLD: в 1991 и 1992гг. - в г.Бергамо (Италия) [2], в 1994г.- в Париже [3], в 1996г.- в Мадриде [4]. Пятый семинар будет проведен 2-5 июня 1999г. в г.Денвер (США).

Одна и та же численная модель, используемая для моделирования данного аспекта поведения плотины, может быть относительно достоверна для различных периодов службы плотины (строительства, первого наполнения водохранилища или ВБ, эксплуатации) и для разных типов плотин. Оценка достоверности численных методов выражается через индекс достоверности (RI) с четырьмя уровнями: RI=1 - высокий (без ограничений и упрощений), 2 - средний (с ограничениями и упрощениями в алгоритмах, трудностью получения надежных опытных данных), 3 - низкий (из-за серьезных допущений и упрощений возможна только качественная оценка), 4- нулевой (численное моделирование невозможно).

Ниже используем следующие заглавные буквы для обозначений: Б - бетонная плотина, Г - грунтовая плотина, С - статическое поведение, Д - динамическое поведение, Г - гидравлическое поведение.

Для разных типов плотин и их поведения (БС, БД, БГ, ГС, ГД) даны матрицы $[i, j]$, где i -номер данного аспекта поведения плотины (в порядке его значения для безопасности) в данный срок ее службы: $j=1$ (строительство), $j=2$ - первое наполнение ВБ, $j=3$ - эксплуатация.

1. Бетонные плотины - статическое поведение (БС).

1.1. Напряженно-деформированное состояние (НДС)

БС [1,1], RI=2. Строительный период.

Численные методы расчета НДС в этот период применяются для всех плотин. Трудности возникают вследствие следующих причин:

сложность учета явлений схватывания, твердения и усадки бетона с образованием усадочных трещин, влияющих на НДС;
деформируемость скального основания, сильно зависящая от неоднородности скального массива и наличия в нем по-

тенциальных плоскостей скольжения, которые очень трудно моделировать;

невозможность точного моделирования объемных температурных деформаций вследствие экзотермии бетона, зависящих от расхода и типа цемента, толщины слоя бетона, времени перекрытия слоев, высоты блоков бетонирования, наружной температуры и др;

отсутствие полных данных по цементации строительных швов.

БС [1,2], RI=2. Первое наполнение водохранилища (ВБ).

Средняя достоверность (RI=2) численных расчетов НДС бетонных плотин в этот период, в основном, вызвана отсутствием данных по проницаемости скальных оснований, влияющих на параметры их деформируемости. Трудности возникают и в моделировании осадок, ползучести, деформаций швов и трещин в системе плотина-основание при росте давления ВБ, в учете влияния цементации и дренажа основания на развитие в нем порового давления воды.

БС [1,3], RI=1. Период эксплуатации.

Численное моделирование поведения бетонных плотин в этот период вполне достоверно (RI=1), так как, в целом, данные мониторинга плотины позволяют получить достоверную картину поведения системы плотина-основание-водохранилище.

1.2. Местная и общая устойчивость плотин, связанная с трещинообразованием бетона.

БС [2,1]=БС [2,2], RI=3. Строительство и первое наполнение ВБ.

Низкая достоверность (RI=3) численных расчетов трещиностойкости бетонных плотин в эти периоды вызвана как причинами, рассмотренными в пункте 1.1, так и трудностями точного описания процесса образования и распространения трещин в бетоне.

БС [2,3], RI=2. Период эксплуатации.

Численное моделирование поведения бетонных плотин в этот период облегчается (RI=2) за счет получения натуральных данных их поведения в предыдущие периоды службы, что позволяет снять ряд неопределенностей моделирования их поведения в этот период.

Главные трудности возникают из-за несовершенства численных моделей и отсутствия их подтверждений экспериментами, а именно:

а) устойчивость численных решений гарантируется только ниже определенного уровня нагрузок, что требует очень точного алгоритма, в противном случае численные ошибки могут вызвать неустойчивость счета, что приведет к занижению разрушающих усилий;

б) трудность воспроизведения в лабораторных испытаниях хрупких моделей сложного процесса трещинообразования в плотине, что затрудняет распространение данные этих испытаний на плотину и проверку математических моделей расчетов.

Следует фиксировать в плотине не только раскрытие, но и длину и расположение трещин, что намного сложнее. Необходим постоянный мониторинг трещин, так как только при большой области их распространения возникают заметные деформации гребня плотины.

1.3. Сдвиг и поворот плотины *BC [3,1]=BC [3,2]=BC [3,3], RI=1.*

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Несмотря на простоту обычных методов расчета (по предельному равновесию с учетом формулировки жесткого тела) они доказали свою достоверность. Сейчас успешно используют численные методы, которые не имеют ограничений и позволяют определять напряжения и деформации при состоянии, близком к разрушению.

1.4. Неустойчивость скальных откосов или блоков примыканий *BC [4,1]=BC [4,2]=BC [4,3], RI=2.*

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

См. замечания раздела 1.3. В этом случае, однако, трудно определить расчетные параметры скалы и геотехнические данные откосов.

1.5. Фильтрация в скальном основании бетонных плотин *BC [5,2]=BC [5,3], RI=2.*

Первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Средняя достоверность численных методов расчета фильтрации в скальном основании плотин, в основном, вызвана его неоднородностью и сложностью выбора расчетной схемы фильтрации. Сложность моделирования подготовки основания (цементации и дренажа) и тесная связь между НДС трещиноватого скального основания и его проницаемостью снижает достоверность расчета фильтрации.

*1.6. Старение бетона, реакции щелочи цемента с заполнителем и др.
БС [6,3], RI=3. Эксплуатация.*

Численные расчеты этих явлений могут дать лишь качественную оценку. В эксплуатируемых плотинах их развитие можно контролировать натурными и лабораторными опытами. Хотя численного моделирования этих явлений не имеется, влияние щелочных реакций в заполнителе может быть оценено эквивалентным температурным расчетом, в котором старение бетона может моделироваться при правильном прогрессирующем снижении его физико-механических параметров (жесткости, коэффициента фильтрации и др.).

*1.7. Растворение скальных пород вследствие фильтрации
БС [7,2]=БС [7,3], RI=4.*

Первое наполнение ВБ и эксплуатация.

В настоящее время не существует численных методов расчета этого явления. Для его качественной оценки и разработки защитных мероприятий используют лабораторные исследования пород.

2. Бетонные плотины - динамическое поведение (БД).

2.1. Напряженно-деформированное состояние (НДС)

БД [1,1]=БД [1,2]=БД [1,3], RI=2.

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Моделирование динамических воздействий вносит дополнительную аппроксимацию по сравнению со статическими расчетами. Поэтому достоверность динамических расчетов для периода эксплуатации более низкая (средняя, RI=2) по сравнению со статическими расчетами (высокая, 1). Для строительства и первого наполнения водохранилища достоверность средняя для обоих расчетов (RI=2).

В динамических расчетах следует учитывать следующие факторы:

а) влияние динамических нагрузок на прочность и упругие параметры бетона. Модуль упругости и предел прочности бетона изменяются в зависимости от скорости приложения нагрузки (динамические модуль упругости и прочность бетона на сжатие более чем в 1,5 раза превышают соответствующие статические параметры);

б) в бетоне зависимость напряжения-деформации характеризуется разупрочнением после превышения предела прочности на растяжение. Способность бетона к рассеиванию энергии перед полным разрушением играет важную роль при сейс-

мическом воздействии. Приемлемые модели учета этих факторов пока еще не разработаны;

с) при математическом описании динамического поведения плотины возникает дополнительная трудность, связанная с необходимостью весьма точного моделирования рассеивания энергии колебаний через систему плотина-основание-водохранилище.

2.2. Местная и общая устойчивость плотин, связанная с трещинообразованием бетона.

БД [2,1]=БД[2,2]=БД [2,3], RI=3.

Строительство, первое наполнение ВВ и эксплуатация.

Исследование разрушения бетонных плотин при динамических воздействиях следует проводить на крупномасштабных моделях с воспроизведением сейсмических воздействий. Опытные данные показывают, что прочность бетона на сжатие и, особенно, растяжение возрастает с ростом скорости деформаций. Оценка безопасности бетонных плотин при сейсмических воздействиях сильно зависит от поведения бетона при растяжении и трещинообразовании.

2.3. Сдвиг и поворот плотины.

БД [3,1]=БД [3,2]=БД [3,3], RI=2.

Строительство, первое наполнение ВВ и эксплуатация.

См. комментарии к пунктам 1.3 и 2.1.

2.4. Неустойчивость скальных откосов или блоков примыканий

БД [4,1]=БД [4,2]=БД [4,3], RI=3.

Строительство, первое наполнение ВВ и эксплуатация.

См. комментарии к пунктам 1.4 и 2.1.

3. Бетонные плотины - гидравлическое поведение (БГ).

3.1. Кавитация бетона.

БГ [1,1]=БГ [1,2]=БГ [1,3], RI=2.

Строительство, первое наполнение ВВ и эксплуатация.

Сейчас для моделирования гидравлического режима поверхностных водосбросов плотин используют численные модели, которые позволяют определить распределение давления потока на водосливной грани. Ограничения в использовании этих моделей возникают вследствие пульсации давления из-за развития пограничного турбулентного слоя. В этом случае используют более совершенные численные модели и физические модельные исследования.

3.2. Эрозия бетона плотин.

$$БГ [2,1]=БГ [2,2]=БГ [2,3], RI=3.$$

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Численные модели позволяют определить скорости потока на водосливной грани и содержание наносов в воде. Эрозию бетона оценивают путем корреляции данных расчетов и экспериментов.

3.3. Смещения облицовочных плит водосливов плотин.

$$БГ [3,2]=БГ [3,3], RI=4.$$

Первое наполнение ВБ и эксплуатация.

В настоящее время это явление невозможно моделировать математически из-за пульсации давления на водосливе. Для этих целей используют данные физических модельных исследований.

3.4. Экстремальные паводки водосливов плотин.

$$БГ [4,1]=БГ [4,2]=БГ [4,3], RI=1.$$

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Сейчас прогноз экстремальных паводков выполняется несколькими методами, меняющимися в разных странах в зависимости от традиций и полноты гидрологических данных. Эти методы обычно просты в применении и их точность зависит, в основном, от полноты и достоверности данных прошедших паводков. Если экстремальный паводок определен на этой основе, то численное моделирование максимальных расходов является вполне достоверным ($RI=1$).

3.5. Размывы в нижнем бьефе бетонных плотин.

$$БГ [5,2]=БГ [5,3], RI=4.$$

Первое наполнение ВБ и эксплуатация.

В целом, местные размывы в нижнем бьефе бетонных водосливных плотин могут моделироваться только на физических моделях.

3.6. Отложение наносов.

$$БГ [6,3], RI=2-3. \text{ Эксплуатация.}$$

Сейчас имеются математические методы прогноза транспорта, отложений и повторного взвешивания наносов в реках, которые моделируют такие сложные вопросы, как образование русловой отмостки и фракционирование наносов. Различают мелкие наносы (ил, глина), образующие нагрузку взвешенных наносов, и крупные (песок, гравий), образующие нагрузку донных наносов. Математические модели крупных наносов широко используют в прогнозах заиления водохранилищ и

опыт их применения показывает их среднюю достоверность ($RI=2$), особенно, если параметры модели уточняются по натурным данным. Модели мелких наносов сложны, поэтому используются редко и имеют низкую достоверность ($RI=3$).

4. Грунтовые плотины - статическое поведение (ГС).

4.1. Напряженно-деформированное состояние (НДС), математические модели грунтов.

Для грунтовых плотин с негрунтовыми водоупорными элементами (экранами, диафрагмами) можно выполнять расчеты полных напряжений (без учета консолидации грунта). Для грунтовых плотин с глинистыми ядрами и экранами или однородных глинистых плотин следует проводить связанные расчеты эффективных напряжений и порового давления воды. Математические модели грунтов, моделирующие поведение скелета грунта и поровой воды, различаются в зависимости от того, является ли расчет связанным или нет.

Автор статьи дал классификацию моделей грунтов, их анализ и рекомендации по их выбору, которые вошли в бюллетень ICOLD.

Группа нелинейно-упругих моделей, включая известную гиперболическую модель Дункана, характеризуется зависимостью модуля деформации грунта от изотропного и девиаторного напряжений при монотонном нагружении, что соответствует полойной отсыпке плотины. Однако эти модели не учитывают влияние пути нагружения и дилатанцию (разрыхление) грунтов и их нелинейное поведение при разгрузке - повторной нагрузке. Эти модели рекомендуются для статических связанных расчетов зонированных земляных плотин и несвязанных расчетов однородных песчаных плотин.

Группа упругих идеально-пластических моделей (Моркулона, Мизеса, Друкера-Прагера) с ассоциированным законом течения нереально завышает дилатанцию грунтов. Поэтому в этих моделях следует принимать неассоциированный закон течения, что однако часто не обеспечивает достоверность результатов расчетов НДС.

Группа упругопластических моделей с изотропным, кинематическим и изотропно-кинематическим упрочнением и ассоциированным и неассоциированным законами течения наиболее многочисленна и перспективна. Она включает в себя большую подгруппу моделей критического состояния грунта (около 30), в том числе известную модель Кэм-Клей и варианты ее модификаций не только для уплотненных глинистых и песчаных грунтов, но и крупнообломочных. Варианты моделей

Кэм-Клей по сравнению с другими более сложными моделями (Обри-Хьюжа, Лейда, Превоста, Мроза-Норриса, Дафалиаса-Хермана, Зарецкого и др.) имеют всего 4-5 параметров, которые определяются из стандартных трехосных опытов и имеют ясный физический смысл. Важно также, что имеется обширная библиотека параметров этой модели для многих типов грунтов. Поэтому рекомендуется применять в расчетах НДС каменно-земляных плотин модели Кэм-Клей и 1-2 более сложные модели.

ГС [1,1], RI=2. НДС тела плотины. Строительство.

В земляных плотинах из несвязных грунтов и каменно-насыпных плотинах с негрунтовыми водоупорными элементами производится несвязанный расчет НДС без учета порового давления. В земляных плотинах из связных грунтов и каменно-земляных плотинах следует проводить связанный расчет НДС с учетом порового давления.

ГС [1,2], RI=1-2. НДС тела плотины. Первое наполнение ВБ.

Средняя достоверность (RI=2) связанных расчетов НДС тела каменно-земляной или земляной плотины из связных грунтов вызвана сложностью прогноза распространения линии водонасыщения с верхового откоса внутрь глинистых элементов плотины с поровым давлением консолидации и просадками ряда глинистых грунтов при замачивании. Высокая достоверность (RI=1) несвязанных расчетов земляных плотин из несвязных грунтов с негрунтовыми водоупорными элементами вызвана отсутствием этих сложностей.

ГС [1,3], RI=1. НДС тела плотины. Эксплуатация.

Расчет НДС каменно-земляной и земляной плотины из связных грунтов более сложен чем грунтовой плотины с негрунтовыми водоупорными элементами из-за трудности учета влияния переходных режимов фильтрации при быстрой сработке ВБ. Связанные расчеты НДС и установившейся фильтрации в каменно-земляных и земляных плотинах при эксплуатации и обратные расчеты плотин позволяют достичь высокой достоверности результатов расчетов (RI=1).

ГС [2,1]=ГС[2,2]=ГС [2,3], RI=2.

НДС грунтового основания плотины

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

См. замечания к предыдущим трем разделам НДС тела плотины.

4.2. Устойчивость грунтовых плотин.

$ГС [3,1]=ГС [3,2]=ГС [3,3], RI=1$. Тело плотин.

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Численные методы расчета НДС грунтовых плотин (плоская и трехмерная задачи) с использованием нелинейно-упругих моделей грунтов позволяют выявить потенциальные зоны скольжения (круглоцилиндрические или более сложные), для которых можно определить коэффициент запаса устойчивости. В каменно-земляных плотинах следует также учитывать криволинейность предельной поверхности крупнообломочных грунтов с ростом нормальных напряжений (снижение прочности камня на сдвиг с ростом давления).

Однако вполне достоверные результаты ($RI=1$) этих расчетов достигаются только при применении упругопластических моделей грунтов, что позволяет достоверно выявить зоны пластического течения грунтов и механизм прогрессирующего разрушения плотины.

В этих расчетах каменно-земляных плотин важно также достоверно определить поровое давление воды в глинистых ядрах, что сложно, особенно в конце строительства и при первом наполнении ВБ.

$ГС [4,1]=ГС [4,2]=ГС [4,3], RI=2$.

Основание, примыкания, откосы.

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Расчеты устойчивости грунтовых и скальных оснований плотин, береговых примыканий и откосов водохранилища представляют собой более сложную задачу по сравнению с расчетом устойчивости плотины ввиду больших неопределенностей в исходных физико-механических параметрах грунтов и гидрогеологических данных. Это снижает достоверность результатов расчетов до средней ($RI=2$) даже при использовании численных методов в трехмерных задачах.

4.3. Фильтрация в теле плотины и ее основании.

Обычно проводят несвязанные расчеты фильтрации, т.е. без учета влияния НДС, консолидации глинистых грунтов, переменной параметра фильтрации. В зависимости от этапа службы плотины рассматривается неустановившаяся и установившаяся фильтрация.

$ГС [5,2]=ГС [5,3], RI=1.$ Тело плотины.

Первое наполнение ВБ и эксплуатация.

За исключением редкого случая нелинейной фильтрации через разрыв негрунтового экрана во всех грунтовых плотинах рассматривается ламинарная фильтрация - неустановившаяся при первом наполнении ВБ и установившаяся в эксплуатации. В первом случае сложность связана с водонасыщением грунта, во втором - с быстрой сработкой ВБ. Достоверность расчета в обоих случаях высокая.

$ГС [6,1]=ГС [6,2]=ГС [6,3], RI=2.$ Основание плотины.

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Меньшая по сравнению с предыдущим случаем достоверность расчета ($RI=2$) вызвана трудностью определения параметров фильтрации и распределения водопроницаемости пород (особенно карстовых) из полевых опытов. В ряде случаев, когда водопроницаемость пород определяется наличием системы швов, высоко влияние на проницаемость пород изменений в НДС основания в связи с возведением плотины, которое трудно оценить количественно. Сложности возникают при учете степени проницаемости стенки-диафрагмы и цемзавесы и эффективности работы дренажа в основании.

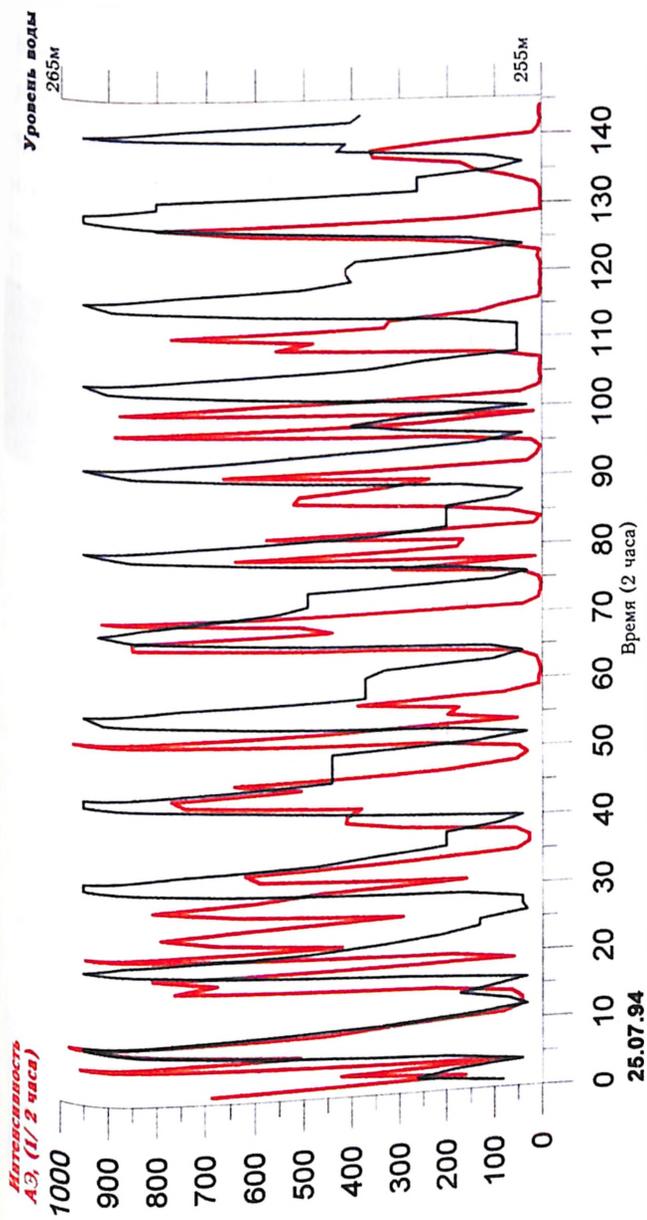
4.4. Внутренняя суффозия грунта.

$ГС [7,2]=ГС [7,3]=ГС [8,1]=ГС [8,2]=ГС [8,3], RI=4.$

Тело плотины и основание.

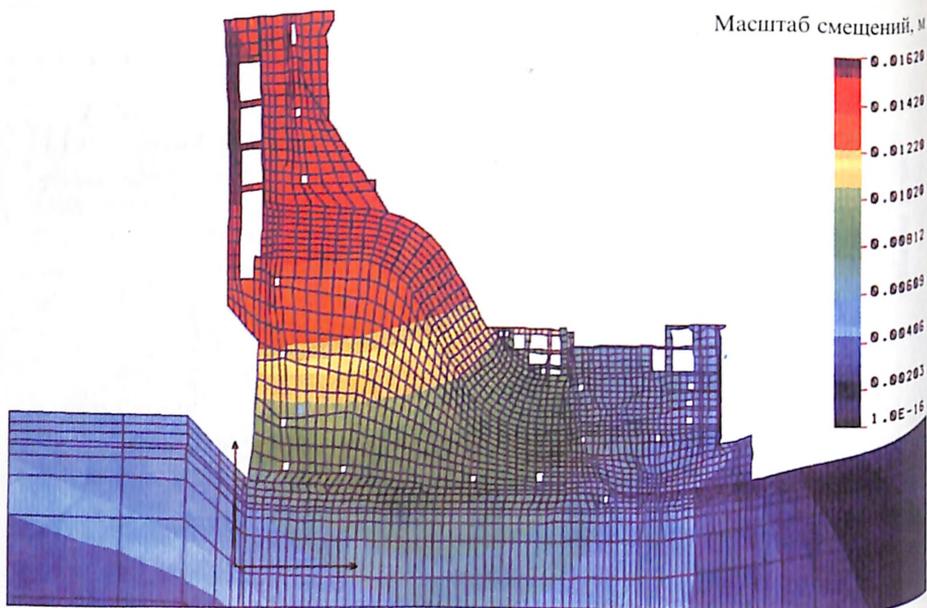
Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Внутренняя суффозия является одной из главных причин аварии зонированных земляных и каменно-земляных плотин. В последние годы разработан ряд уточненных критериев проектирования фильтров и переходных зон для защиты различных глинистых грунтов включая морены (критерии Шерарда, Лафьера, ICOLD, ВНИИГ). Снижение опасности суффозии в грунтовых плотинах достигается в результате мониторинга потенциальных зон суффозии и контроля фильтрации воды и ее мутности, порового давления, деформаций. Сейчас делаются попытки численного моделирования процесса внутренней суффозии, но до их практического применения еще далеко.

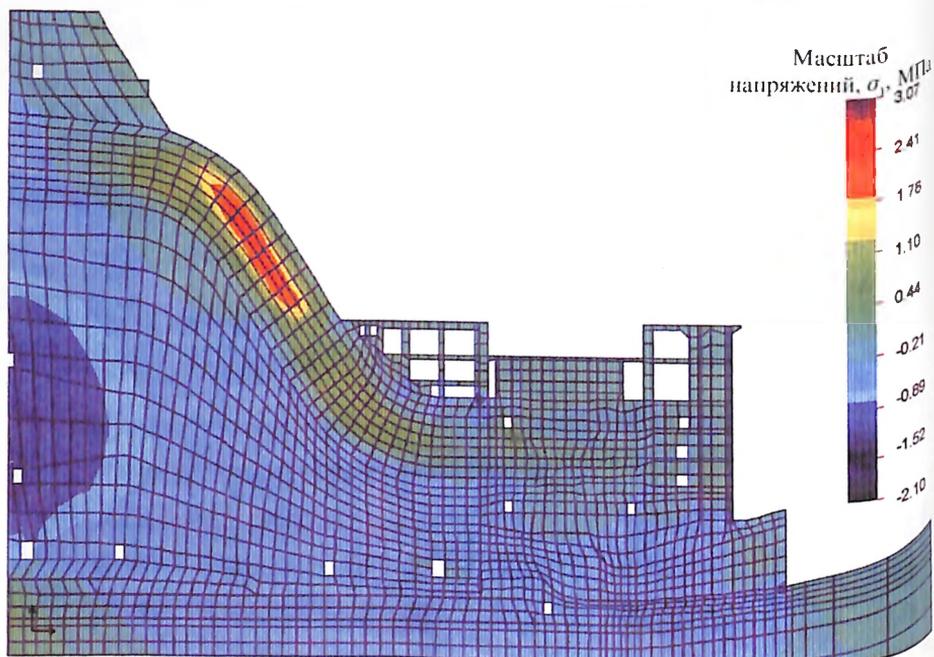


Фрагмент ряда наблюдений интенсивности АЭ и уровня воды верхнего бассейна
Загорской ГАЭС в 1995 г.

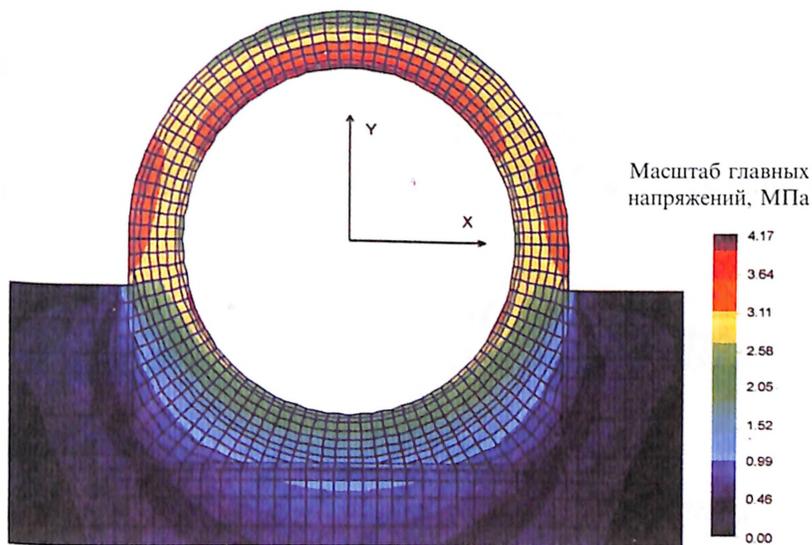
(к статье Козлова О.В., Копцева В.И.)



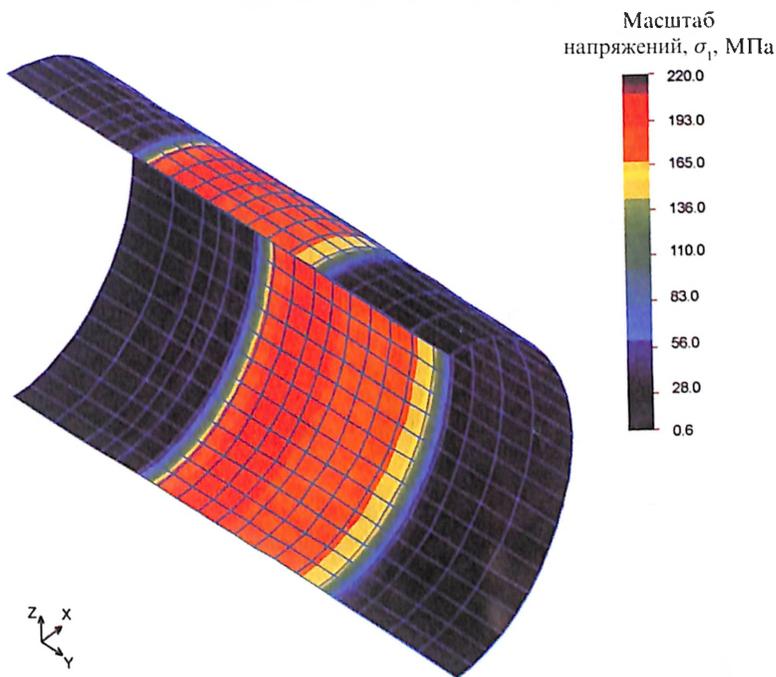
Деформированное состояние плотины со зданием ГЭС



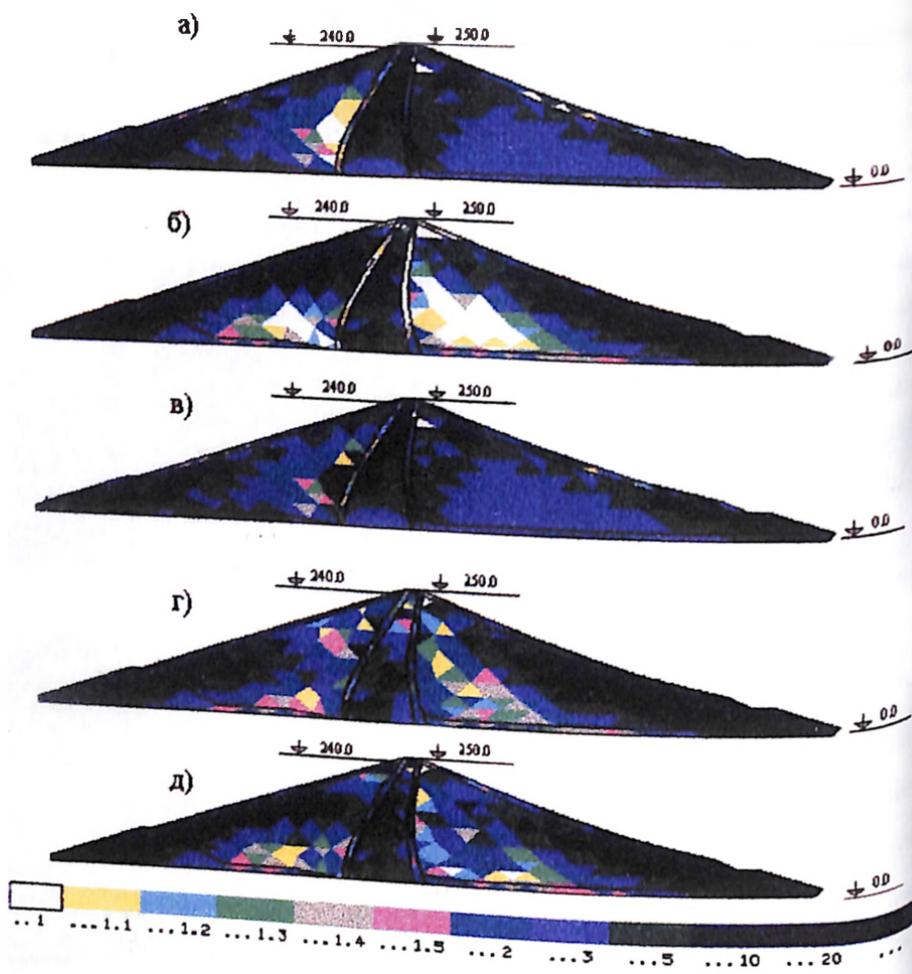
Распределение главных напряжений в русловой секции плотины, включая область расположения водовода



Распределение главных напряжений в поперечном сечении 1-1 водовода русловой секции плотины



Распределение главных напряжений в стальной оболочке водовода на компенсационном участке



Распределение коэффициента надежности в теле грунтовой плотины:

- а) плоская задача, до землетрясения; б) пространственная задача, до землетрясения;
- в) плоская задача, после девятибалльного землетрясения; г) пространственная задача, после девятибалльного землетрясения, учитывались две составляющие акселерограммы; д) пространственная задача, после девятибалльного землетрясения, учитывались три составляющие акселерограммы.

(к статье Рассказова Л.Н., Бестужева А.С., Абарина А.М.)

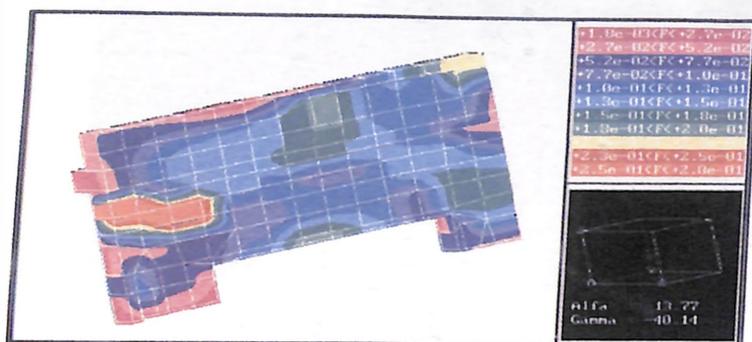


Пермская ГРЭС

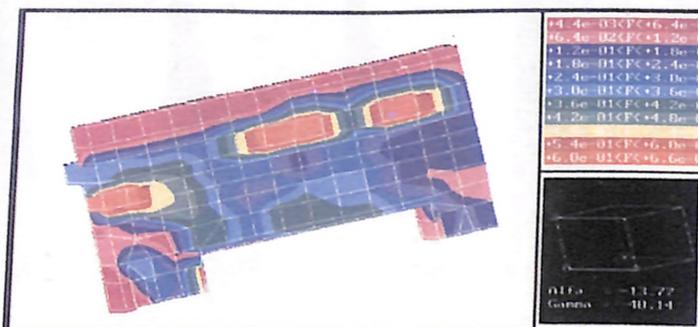
(к статье Борисовой Т.Е.,
Затворницкой Т.А.,
Пухова И.Е., Магитон А.С.,
Соколова Л.Д.)



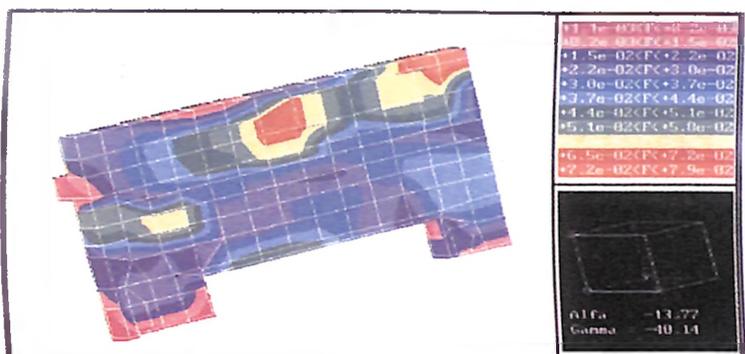
Машинный зал ГЭС Аль Фахда (Марокко).
(к статье Золотова А.Л., Клабукова В.М.)



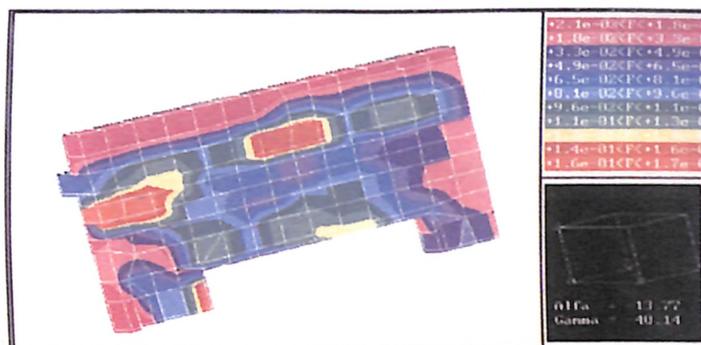
Воздействие по X (поперек оси СП). $M_x^{max}=0.280 \text{ МН}\cdot\text{м/м}$



Воздействие по X (поперек оси СП). $M_y^{max}=0.660 \text{ МН}\cdot\text{м/м}$

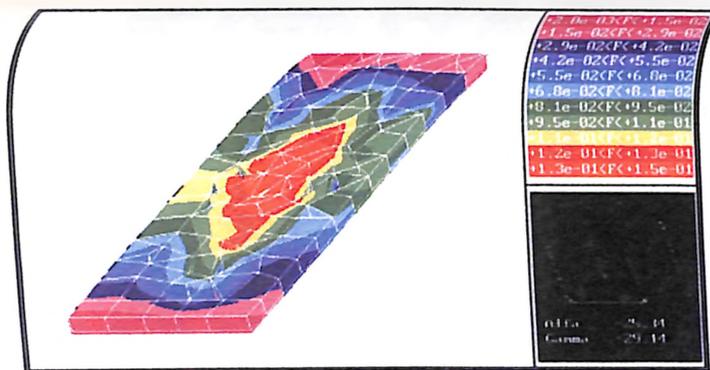


Воздействие по Y (по оси СП). $M_x^{max}=0.079 \text{ МН}\cdot\text{м/м}$

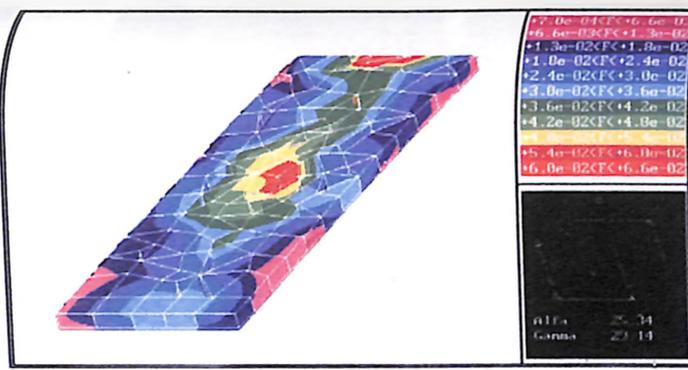


Воздействие по Y (по оси СП). $M_y^{max}=0.170 \text{ МН}\cdot\text{м/м}$

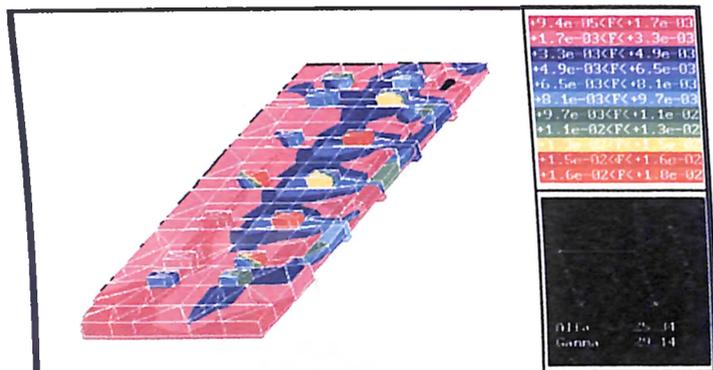
Сейсмические моменты (МН·м/м) в стене бокса по оси И.
Вариант без дополнительной опоры.



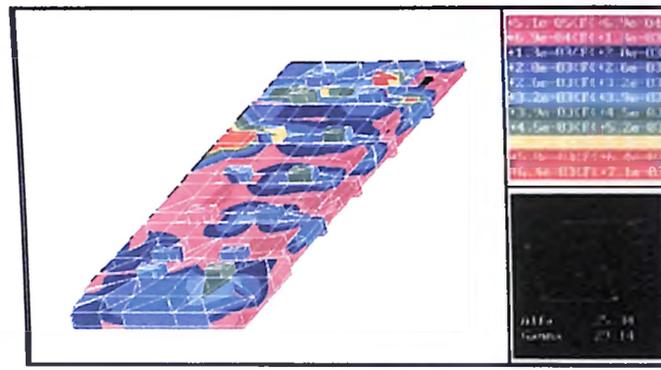
$M_x^{max}=0.150 \text{ МН}\cdot\text{м/м}$



$M_y^{max}=0.066 \text{ МН}\cdot\text{м/м}$



$M_x^{max}=0.018 \text{ МН}\cdot\text{м/м}$



$M_y^{max}=0.007 \text{ МН}\cdot\text{м/м}$

Сейсмические моменты (МН·м/м) в перекрытиях при воздействии по оси Z.
Вариант без дополнительной опоры.



Здание Ичалковской ГЭС. Вид с переливной дамбы.



Переливная дамба (ремонт левобережного примыкания).

(рисунки к статье Луначи М.Э.)

4.5. Гидравлический разрыв глинистых элементов плотин. ГС [9,2]=ГС [9,3]=ГС [10,1]=ГС [10,2]=ГС [10,3], RI=2-3

Тело плотины и основание.

Первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Гидравлический разрыв верхней части глинистых ядер при первом наполнении ВБ явился главной причиной аварий ряда каменно-земляных плотин. Образование трещин гидравлического разрыва относится к проявлению эффекта «слабого звена», когда разрыв начинается в наиболее слабом месте ядра (в зонах разгрузки по минимальным и промежуточным главным напряжениям, σ_3 и σ_2 , недоуплотнения грунта, подвижек ядра по контакту с вертикальными стенками) в результате расклинивающего действия воды на зигзагообразную напорную грань ядра, вызывающего в грунте растяжение.

Обычно используемый критерий его образования (минимальное главное напряжение в грунте меньше давления ВБ, $\sigma_3 < \gamma h_B$) является недостаточным, так как не учитывает влияния плотности-влажности грунта, способности грунта к самозалечиванию трещин разрыва, степени консолидации ядра и его «эффективной» ширины (где эффективные напряжения положительны), режима наполнения и сработки ВБ. Применение новых критериев, полученных нами [5] и учитывающих влияние этих факторов, повышает достоверность прогноза гидравлического разрыва ядер до среднего уровня (RI=2).

4.6. Особые явления в основании: растворение грунта при фильтрации, статическое разжижение грунта, дисперсные глины и др.

Статическое разжижение может произойти в слое аллювия, ограниченном глинистыми слоями, а также при нарушении технологии намыва песчаной плотины. Это явление весьма достоверно (RI=2) моделируется численными расчетами и лабораторными опытами.

Остальные явления математически не моделируются (RI=4) и могут быть изучены только в результате полевых исследований.

5. Грунтовые плотины - динамическое поведение (ГД).

5.1. Напряженно-деформированное состояние (НДС).

По сравнению с численными расчетами НДС грунтовых плотин при статических воздействиях расчеты НДС при сейсмических воздействиях более сложные и потому обладают низ-

кой достоверностью ($RI=3$). Главные сложности этих расчетов заключаются в:

выборе расчетных акселерограмм землетрясений (МВЗ, ЭПЗ);
определении и моделировании границ отражений и поглощений сейсмических волн в расчетной области;

взаимодействии плотины и основания (мягкого и жесткого).

Динамическое поведение грунтовой плотины на мягком основании сильно отличается от поведения плотины на жестком основании. Очень важно не пропустить в водонасыщенном аллювиальном основании прослойки рыхлых и слабых грунтов и определить возможно точнее их физико-механические параметры, так как в подобных условиях динамическое поведение плотины сильно усложняется;

г) зависимости механических характеристик грунтов плотины от ее статического НДС при сейсмическом воздействии (МВЗ и ЭПЗ).

Общая сейсмоустойчивость плотины, возможность разжижения несвязных грунтов, поведение плотины после сейсма, включая гидравлический разрыв ядра и сосредоточенную фильтрацию и др., могут быть оценены с помощью псевдостатических методов с учетом результатов расчетов сейсмического НДС плотины и основания.

Однако до сих пор применяемые псевдостатические методы не могут учитывать такие важные явления, как усиление амплитуды колебаний, остаточное поровое давление воды после сейсма, разжижение несвязных грунтов, перераспределение напряжений и др.

Взаимодействие грунтовой плотины с ВБ при сейсме в отличие от бетонных не влияет на частотные характеристики плотины.

$$ГД [1,1]=ГД [1,2]=ГД [1,3], RI=3.$$

НДС тела плотины и основания.

Строительство, первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Моделирование динамического поведения грунтовых плотин.

Численные расчеты НДС грунтовых плотин и оснований на действие расчетных акселерограмм (МВЗ и ЭПЗ) следует проводить с применением нелинейных динамических моделей грунтов, используя пошаговое интегрирование или, в крайнем случае, эквивалентно-линейный метод Сиды. Последний, хотя и приемлем для оценки максимальных ускорений, напряжений и деформаций плотины, не может оценить постоянные (пластические) деформации и напряжения.

В динамических расчетах как связанных, так и несвязанных, с применением нелинейных динамических моделей грунтов, главная сложность заключается в способности этих моделей достоверно воспроизвести при динамических нагрузках следующие явления:

изменение зависимости напряжения-деформации в грунте при перемене знаков нагрузок; многие модели грунтов показывают усиление амплитуды гистерезиса, что противоречит опытным данным;

затухание колебаний системы плотина-основание вследствие пластических деформаций и ползучести грунтов, что подтверждено опытными данными и результатами расчетов, представленных на Международных семинарах, организованных комитетом ICOLD;

циклическое затухание (например, изменчивость закономерности напряжения-деформации с ростом числа циклов нагружений);

эффекты взаимосвязи фаз грунта (правильный прогноз роста динамического порового давления воды является важным не только для прогноза максимального ускорения в плотине, но и для оценки поведения плотины после окончания сейсмического воздействия).

При всех выше приведенных факторах нельзя однако считать, что связанные динамические расчеты с применением упругопластических моделей грунтов более достоверны, чем несвязанные расчеты в отношении полных напряжений, если для последних приняты достоверные методы прогноза порового давления воды.

Последние большие возможности численного моделирования связаны с динамическим поведением трехфазной среды - частично водонасыщенного грунта. Недавно в опытах было установлено, что изменчивость степени водонасыщения глинистого грунта ядра сильно влияет на закономерность напряжения-деформации при циклических нагрузках даже при низких уровнях деформаций. Однако пока в динамических расчетах не следует переходить на трехфазную модель грунта и отказываться от применения двухфазной модели, для которой правильно определены все ее параметры.

В целом, сложности численного моделирования динамического поведения плотин более существенны в однородных и зонированных земляных плотинах (из-за сложности их многофазных грунтов), однако подобные сложности могут возник-

нуть и в каменнонабросных плотинах, особенно если камень сильно недоуплотнен.

Определение динамических параметров грунтов.

Динамические параметры грунтов обычно определяются и экспериментов: полевых (на плотине и в основании), лабораторных (с грунтами ядра и основания). Точность определения этих параметров соответствует точности динамических расчетов. Точность определения статических параметров деформируемости грунтов, используемых в расчетах начального статического НДС, несколько ниже, чем динамических. Эти параметры сложно определить из полевых геотехнических опытов, а достоверность их определения из лабораторных опытов (например, трехосных) низкая и не соответствует поведению грунтов в плотине при различных уровнях деформации.

Коэффициент затухания колебаний (особенно в глинистых ядрах плотин), используемый в линейно-эквивалентном и нелинейных динамических расчетах грунтовых плотин, изменяется в широких пределах, что приводит к разбросу результатов расчета.

Неоднородность, граничные условия, геометрические факторы.

В расчетах на сильные землетрясения влияние физикомеханических факторов, связанных с нелинейностью деформирования грунтов, очень высоко. В расчетах с упругими моделями грунтов (при слабых землетрясениях) геометрическая изменчивость свойств грунтов, жесткость основания, морфология створа, отношение высоты плотины к длине влияют на динамическое поведение плотины.

5.2. Внутренняя суффозия грунта в плотине после землетрясения.

$ГД [8,2]=ГД [8,3]=ГД [9,2]=ГД [9,3]=ГД [9,4], RI=4.$

Тело плотины и основание.

Первое наполнение ВБ и эксплуатация.

Поскольку внутреннюю суффозию грунта в плотине после землетрясения невозможно предотвратить, то должна быть установлена система мониторинга плотины с контролем деформаций, порового давления, фильтрации воды и ее мутности и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. ICOLD New Bulletin (5-th version, December 1998). Reliability and applicability of computational procedures for dam engineering. 1998.
2. ICOLD Bulletin 94. Computer software for dams. Validation, comments and proposals. 1994.

3. 3-rd Benchmark Workshop on Numerical Analysis for Dams. Paris, 1994.

4. 4-th Benchmark Workshop on Numerical Analysis for Dams. Madrid, 1996.

5. Ляпичев Ю.П. Обеспечение трещиностойкости каменно-земляных плотин. М.: Информэнерго. Серия ГЭС. 1985. вып.8.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭВМ ПРИ УРАВНИВАНИИ БОЛЬШИХ НИВЕЛИРНЫХ СЕТЕЙ

Дудин А.В., инженер (АО ЭиЭ «Иркутскэнерго»)

Задача повышения производительности труда при математической обработке геодезических измерений всегда была актуальна, а в настоящее время особенно. Это связано с тем, что в реальном производстве геодезисту приходится самому решать вопросы уравнивания и оценки точности геодезических измерений, так как существующие программы очень дорогие.

Большой круг геодезических задач связан с решением систем нормальных уравнений. Для решения таких систем применяются различные способы, описанные в литературе.

Все эти способы объединяет одно: при решении систем линейных уравнений и обращении матриц высокого порядка, когда вся исходная информация не может быть размещена в оперативной памяти ЭВМ, вычислительный процесс строят таким образом, чтобы обработка исходной и промежуточной информации осуществлялась по частям. А практика математической обработки геодезических измерений в литературе изложена на уровне демонстрационных схем и не всегда полно отражает истинные производственные потребности.

При использовании современных компьютеров типа Pentium с программным обеспечением Windows-98 эту задачу можно решить классическим способом.

Автор попытался показать с помощью мощного компьютера уравнивание параметрическим способом реальной нивелирной сети.

Параметрический способ выбран потому, что он позволяет в процессе уравнивания выполнить оценку точности практически всех измеренных и уравненных величин.

Для наблюдения за осадками фундаментов зданий, сооружений и оборудования на Ново-Иркутской ТЭЦ АО ЭиЭ «Иркутскэнерго» были заложены осадочные марки и исходные

глубинные репера. И, начиная с момента ввода в эксплуатацию в 1975 году, было проведено 3 цикла наблюдений.

В процессе эксплуатации станции исходные репера были утрачены, а 90% марок уничтожены, тем более что за это время была построена вторая очередь станции. Поэтому возникла необходимость закладки новых четырех исходных реперов и осадочных марок и проведения высокоточного нивелирования между ними.

Ниже изложен алгоритм уравнивания нивелирной сети параметрическим способом. Любой геодезист-практик, обладающий навыками работы в электронных таблицах EXCEL, без труда в нм разберется и сможет с успехом применить в своей производственной деятельности.

Теория вопроса

Для каждого измеряемого превышения между двумя точками можно составить исходное уравнение связи

$$H_i = \varphi_i(X) = X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}, \quad (1)$$

где X - истинные значения соответствующих величин.

В практике уравнивательных вычислений обычно ищут поправки δx_j , решая уравнения поправок к измеренным превышениям

$$v_i = \delta x_{\text{кон}} - \delta x_{\text{нач}} + l_i \quad (2)$$

где l_i — свободный член, равный

$$l_i = X_{\text{кон}}^0 - X_{\text{нач}}^0 - h_i, \quad (3)$$

где h_i - измеренное превышение; X_j^0 - приближенные значения высот точек, вычисляемые от известных высот по величинам h_i . В конкретной сети индексы «кон» и «нач» заменяются соответствующими номерами узловых точек.

Матричное уравнение поправок

$$V = A\delta X + L, \quad (4)$$

где A - матрица коэффициентов уравнений поправок, размером $(n \times k)$. Она будет иметь вид:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nk} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где элементы $a_{ij} = \pm 1$, если ход i принадлежит узлу с номером j , и $a_{ij} = 0$ в противном случае. При этом знак «+» ставится, если j -я точка - конец хода, «-» если начало.

Векторы неизвестных свободных членов δX и L соответственно равны:

$$\delta X = \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \dots \\ \delta x_k \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \dots \\ l_n \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Диагональная матрица весов

$$P = \begin{bmatrix} p_1 & & & & \\ & p_2 & & & \\ & & \dots & & \\ & & & \dots & \\ & & & & p_n \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Нормальные уравнения запишутся в виде

$$N \delta X + A^T P L = 0, \quad (8)$$

где N - матрица коэффициентов нормальных уравнений?
равная

$$N = A^T P A \quad (9)$$

Решением системы нормальных уравнений является вектор

$$\delta X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L) = -Q (A^T P L). \quad (10)$$

Уравненные значения неизвестных:

$$X = X_{np} + \delta X. \quad (11)$$

Поправки: $V = A \delta X + L.$

$$\text{Контроль: } V^T P V = (L^T P A) \delta X + L^T P L \quad (12)$$

Оценка точности

Средняя квадратическая погрешность единицы веса определяется по известной формуле

$$\mu_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{n-k}}, \quad (14)$$

где n - число ходов; k - число узловых точек.

Средняя квадратическая погрешность уравниваемых параметров определяется по формуле

$$m_{x_j} = \mu_0 \sqrt{Q_{ii}}, \quad (15)$$

где Q_{ii} - весовые коэффициенты - диагональные элементы обратной матрицы N^{-1} .

Средняя квадратическая погрешность уравниваемых превышений

$$m_{h_{ij}} = \mu_0 \sqrt{Q_{ii} + Q_{jj} - 2Q_{ij}}. \quad (16)$$

Матрица Q оценивает не только веса уравниваемых параметров, но и корреляционные связи между ними

$$r_{x_i x_j} = Q_{ij} \sqrt{Q_{ii} Q_{jj}} \quad (17)$$

Характеристика сети

В 1998 году была развита нивелирная сеть в виде 86 ходов с 54 узловыми точками (рис.1). Вся сеть была привязана к одному исходному реперу - п.«Берзка», находящегося на расстоянии 200 метров от главного корпуса ТЭЦ.

Сначала был проложен замкнутый двойной нивелирный ход между опорными глубинными реперами. Невязка в ходе - $\pm 0,08$ мм.

Затем от временных реперов, отметки которых были получены при прокладке основного хода, проложены ходы между марками котельного и дымососного отделений. Средняя квадратическая погрешность единицы веса составила $\pm 0,15$ мм.

В машзале на отметке +8м также была развита нивелирная сеть. Передача отметок осуществлялась с помощью рулетки в трех местах от марок котельного отделения. Средняя квадратическая погрешность единицы веса в машзале составила $\pm 0,22$ мм. При уравнивании марок в машзале ошибки исходных данных не брались во внимание, т.к. передача отметок была недостаточно точна по сравнению с самим нивелированием остаточных марок. В качестве примера уравнивания в данной статье приводится нивелирная сеть машзала. Уравнивание сети котельного и дымососного отделений проводилось аналогично.

Алгоритм уравнивания.

Для каждого полигона сети вычисляется практическая невязка, которая сравнивается с допустимой

$$f_{\text{дон}} = 0.3 \sqrt{\frac{1}{P_{ik}}}, \quad (18)$$

где $1/P_{ik} = N_{ik}$; N_{ik} - число штативов в полигоне.

Далее все вычисления ведутся в электронных таблицах EXCEL.

Вычисление приближенных отметок определяемых узловых марок сети производят по формулам

$$H_k = H_i + h_{ik}; \quad H_i = H_k - h_{ik}.$$

Вычисляют свободные члены уравнений поправок по каждому ходу

$$l_i = H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}} - h_{\text{изм.}}$$

Составляют матрицу коэффициентов условных уравнений (таблица 1).

Матрица весов P приводится в таблице 3, она составляется тривиально согласно формуле (7).

Затем, используя математический аппарат EXCEL и применяя формулы (9-12) заполняем таблицы 2, 4. В итоге получаем уравненные отметки узловых марок.

По формуле (12) находят поправки в превышениях и сравнивают их с допустимыми невязками ходов по формуле (18). Находят ход с недопустимой невязкой, который исключают из обработки и производят новое переуранивание сети.

Отметки промежуточных марок в ходах вычисляют обычным способом, опираясь на узловые марки, как исходные.

По окончании производится оценка точности элементов сети.

Из анализа таблицы 5 видно, что с наибольшим коэффициентом Q_{ii} оказалась марка Б51', отметка которой относительно других определилась наиболее слабо.

В таблице 6 занесены средние квадратические погрешности, подсчитанные по формулам (15), (16), где на главной диагонали погрешности $m_{x_{xx}}$.

Таблица 7 заполнена на основании формулы (17), данные которой указывают, что отметки узловых точек имеют положительную корреляцию.

Матрица обратных весов Q

Мар- ки	Б9	Б11	Б15	Б25	Б31	Б34	Б38	Б51'	Б62	А55	А38	ПГ4- 6	ПГ4- 5	ПГ4- 2	А25	ПГ3- 6	ПГ3- 4	ПГ2- 2	ПГ2- 4	ПГ1- 2	ПГ1- 4	А11
Б9	5,179	4,817	4,247	3,033	2,427	2,359	2,295	1,746	1,394	1,586	2,427	2,382	2,341	2,358	3,275	3,215	3,094	4,184	4,205	4,602	4,602	4,806
Б11		5,302	4,656	3,322	2,657	2,583	2,512	1,911	1,526	1,737	2,656	2,607	2,563	2,581	3,583	3,518	3,387	4,572	4,600	4,998	5,120	
Б15			5,435	3,793	3,026	2,932	2,847	2,163	1,726	1,964	3,000	2,949	2,903	2,927	4,013	3,958	3,848	5,012	5,153	4,764	4,624	
Б25				5,018	3,898	3,644	3,475	2,611	2,069	2,348	3,519	3,523	3,513	3,602	4,239	4,434	4,823	3,779	3,784	3,475	3,325	
Б31					4,437	3,961	3,684	2,726	2,137	2,415	3,521	3,622	3,683	3,861	3,518	3,613	3,803	3,042	3,037	2,787	2,662	
Б34						5,158	4,712	3,446	2,680	3,020	4,305	4,526	4,671	4,979	3,579	3,596	3,628	2,981	2,964	2,718	2,591	
Б38							5,515	3,945	3,021	3,384	4,610	4,871	5,141	4,825	3,558	3,537	3,495	2,910	2,889	2,648	2,521	
Б51'								6,718	4,529	4,805	3,697	3,733	3,799	3,556	2,741	2,708	2,644	2,219	2,200	2,016	1,918	
Б62									5,469	4,998	3,052	2,996	2,976	2,781	2,206	2,172	2,103	1,774	1,758	1,611	1,532	
А55										6,173	3,515	3,416	3,363	3,140	2,519	2,476	2,390	2,020	2,002	1,834	1,744	
А38											5,813	5,290	4,892	4,545	3,931	3,828	3,622	3,102	3,068	2,809	2,669	
ПГ4-6												5,676	5,207	4,805	3,784	3,719	3,588	3,034	3,006	2,753	2,618	
ПГ4-5													5,567	4,929	3,664	3,626	3,551	2,974	2,950	2,703	2,573	
ПГ4-2														5,616	3,621	3,616	3,606	2,985	2,966	2,719	2,590	
А25															5,861	5,456	4,645	4,268	4,183	3,821	3,611	
ПГ3-6																5,950	4,939	4,146	4,083	3,734	3,539	
ПГ3-4																	5,529	3,901	3,884	3,562	3,396	
ПГ2-2																		5,711	5,478	4,975	4,642	
ПГ2-4																			5,703	4,905	4,636	
ПГ1-2																					6,090	5,296
А11																						6,126

Таблица 5а

Совмещенные матрицы Q обратных весов (верх) и коэффициенты корреляции

Марки	Б9	Б11	Б15	Б25	Б31	Б34	Б38	Б51'	Б62	А55	А38	ТГ4-6	ТГ4-5	ТГ4-2	А25	ТГ3-6	ТГ3-4	ТГ2-2	ТГ2-4	ТГ1-2	А11
Б9	5,179	4,817	###	###	2,427	###	###	###	1,394	###	###	###	2,341	###	###	###	3,094	4,184	4,205	4,602	4,806
Б11	0,919	5,302	###	###	2,657	###	###	###	1,526	###	###	###	2,563	###	###	###	3,387	4,572	4,600	4,998	5,120
Б15	0,800	0,867	###	###	3,026	###	###	###	1,726	###	###	###	2,903	###	###	###	3,848	5,012	5,153	4,764	4,624
Б25	0,595	0,644	###	###	3,898	###	###	###	2,069	###	###	###	3,513	###	###	###	4,823	3,779	3,784	3,475	3,325
Б31	0,506	0,548	###	###	4,437	###	###	###	2,137	###	###	###	3,683	###	###	###	3,803	3,042	3,037	2,787	2,662
Б34	0,456	0,494	###	###	0,828	###	###	###	2,680	###	###	###	4,671	###	###	###	3,628	2,981	2,964	2,718	2,591
Б38	0,429	0,465	###	###	0,745	###	###	###	3,021	###	###	###	5,141	###	###	###	3,495	2,910	2,889	2,648	2,521
Б51'	0,296	0,320	###	###	0,499	###	###	###	4,529	###	###	###	3,799	###	###	###	2,644	2,219	2,200	2,016	1,918
Б62	0,262	0,283	###	###	0,434	###	###	###	5,469	###	###	###	2,976	###	###	###	2,103	1,774	1,758	1,611	1,532
А55	0,281	0,304	###	###	0,462	###	###	###	0,860	###	###	###	3,363	###	###	###	2,390	2,020	2,002	1,834	1,744
А38	0,442	0,478	###	###	0,693	###	###	###	0,541	###	###	###	4,892	###	###	###	3,622	3,102	3,068	2,809	2,669
ТГ4-6	0,439	0,475	###	###	0,722	###	###	###	0,538	###	###	###	5,207	###	###	###	3,588	3,034	3,006	2,753	2,618
ТГ4-5	0,436	0,472	###	###	0,741	###	###	###	0,539	###	###	###	5,567	###	###	###	3,551	2,974	2,950	2,703	2,573
ТГ4-2	0,437	0,473	###	###	0,774	###	###	###	0,502	###	###	###	0,882	###	###	###	3,606	2,985	2,966	2,719	2,590
А25	0,594	0,643	###	###	0,690	###	###	###	0,390	###	###	###	0,641	###	###	###	4,645	4,268	4,183	3,821	3,611
ТГ3-6	0,579	0,626	###	###	0,703	###	###	###	0,381	###	###	###	0,630	###	###	###	4,939	4,146	4,083	3,734	3,539
ТГ3-4	0,578	0,626	###	###	0,768	###	###	###	0,382	###	###	###	0,640	###	###	###	5,529	3,901	3,884	3,562	3,396
ТГ2-2	0,769	0,831	###	###	0,604	###	###	###	0,317	###	###	###	0,527	###	###	###	0,694	5,711	5,478	4,975	4,642
ТГ2-4	0,774	0,837	###	###	0,604	###	###	###	0,315	###	###	###	0,524	###	###	###	0,692	0,960	5,703	4,905	4,636
ТГ1-2	0,819	0,880	###	###	0,536	###	###	###	0,279	###	###	###	0,464	###	###	###	0,614	0,844	0,832	6,090	5,296
А11	0,853	0,898	###	###	0,511	###	###	###	0,265	###	###	###	0,441	###	###	###	0,584	0,785	0,784	0,867	6,126
	Б9	Б11	Б15	Б25	Б31	Б34	Б38	Б51'	Б62	А55	А38	ТГ4-6	ТГ4-5	ТГ4-2	А25	ТГ3-6	ТГ3-4	ТГ2-2	ТГ2-4	ТГ1-2	А11

Таблица 6

Средние квадратические погрешности высот узловых марок и уравненных превышений

Мар- ки	B9	B11	B15	B25	B31	B34	B38	B51'	B62	A55	A38	ПГ4		ПГ3		ПГ2		ПГ1		All
												6	5	2	4	6	4	2	4	
B9	0,455	0,184	0,291	0,405	0,436	0,474	0,494	0,580	0,561	0,572	0,495	0,494	0,493	0,421	0,430	0,423	0,318	0,314	0,287	0,260
B11	0,460	0,239	0,382	0,420	0,460	0,481	0,573	0,556	0,482	0,480	0,480	0,479	0,480	0,397	0,407	0,400	0,273	0,269	0,236	0,218
B15	0,466	0,337	0,390	0,435	0,458	0,458	0,559	0,546	0,554	0,458	0,457	0,456	0,359	0,368	0,359	0,212	0,182	0,283	0,304	
B25		0,447	0,257	0,339	0,378	0,510	0,503	0,509	0,388	0,381	0,376	0,370	0,300	0,275	0,189	0,354	0,353	0,406	0,423	
B31		0,421	0,258	0,321	0,477	0,474	0,480	0,357	0,338	0,324	0,305	0,355	0,347	0,306	0,402	0,402	0,444	0,457		
B34		0,454	0,180	0,446	0,459	0,460	0,307	0,267	0,235	0,181	0,389	0,390	0,369	0,443	0,444	0,482	0,494			
B38		0,470	0,417	0,445	0,444	0,290	0,241	0,179	0,243	0,410	0,414	0,401	0,465	0,466	0,502	0,514				
B51'		0,518	0,354	0,362	0,453	0,444	0,433	0,457	0,531	0,535	0,526	0,565	0,566	0,592	0,600					
B62		0,468	0,257	0,455	0,454	0,451	0,470	0,524	0,529	0,519	0,552	0,553	0,577	0,584						
A55		0,497	0,445	0,448	0,448	0,448	0,469	0,527	0,532	0,524	0,560	0,561	0,586	0,594						
A38		0,482	0,191	0,253	0,306	0,389	0,402	0,402	0,461	0,461	0,501	0,514								
ПГ4-6			0,476	0,182	0,259	0,396	0,405	0,399	0,461	0,463	0,500	0,512								
ПГ4-5			0,472	0,230	0,402	0,409	0,397	0,462	0,463	0,500	0,512									
ПГ4-2			0,474	0,408	0,411	0,395	0,463	0,464	0,501	0,512										
A25			0,481	0,189	0,275	0,347	0,355	0,413	0,434											
ПГ3-6			0,483	0,231	0,364	0,370	0,424	0,444												
ПГ3-4			0,469	0,367	0,421	0,438														
ПГ2-2			0,478	0,135	0,272	0,320														
ПГ2-4			0,477	0,282	0,320															
ПГ1-2			0,493	0,255	0,295															
All			0,495	0,255	0,295															

Таблица 7

Коэффициенты корреляции уравненных высот узловых марок

Мар- ки	Б9	Б11	Б15	Б25	Б31	Б34	Б38	Б51'	Б62	А55	А38	ТТ4-		ТТ2-		ТТ3-		ТТ1-		А11	
												6	5	2	4	2	4	6	4		2
Б9																					
Б11	0,919																				
Б15	0,800	0,867																			
Б25	0,595	0,644	0,726																		
Б31	0,506	0,548	0,616	0,826																	
Б34	0,456	0,494	0,554	0,716	0,828																
Б38	0,429	0,465	0,520	0,660	0,745	0,884															
Б51'	0,296	0,320	0,358	0,450	0,499	0,585	0,648														
Б62	0,262	0,283	0,317	0,395	0,434	0,505	0,550	0,747													
А55	0,281	0,304	0,339	0,422	0,462	0,535	0,580	0,746	0,860												
А38	0,442	0,478	0,534	0,652	0,693	0,786	0,814	0,592	0,541	0,587											
ТТ4-6	0,439	0,475	0,531	0,660	0,722	0,836	0,871	0,605	0,538	0,577	0,921										
ТТ4-5	0,436	0,472	0,528	0,665	0,741	0,872	0,928	0,621	0,539	0,574	0,860	0,926									
ТТ4-2	0,437	0,473	0,530	0,678	0,774	0,925	0,867	0,579	0,502	0,533	0,796	0,851	0,882								
А25	0,594	0,643	0,711	0,782	0,690	0,651	0,626	0,437	0,390	0,419	0,674	0,656	0,641	0,631							
ТТ3-6	0,579	0,626	0,696	0,811	0,703	0,649	0,617	0,428	0,381	0,409	0,651	0,640	0,630	0,626	0,924						
ТТ3-4	0,578	0,626	0,702	0,916	0,768	0,679	0,633	0,434	0,382	0,409	0,639	0,641	0,640	0,647	0,816	0,861					
ТТ2-2	0,769	0,831	0,900	0,706	0,604	0,549	0,519	0,358	0,317	0,340	0,538	0,533	0,527	0,527	0,738	0,711	0,694				
ТТ2-4	0,774	0,837	0,926	0,707	0,604	0,547	0,515	0,355	0,315	0,337	0,533	0,528	0,524	0,524	0,723	0,701	0,692	0,960			
ТТ1-2	0,819	0,880	0,828	0,629	0,536	0,485	0,457	0,315	0,279	0,299	0,472	0,468	0,464	0,465	0,640	0,620	0,614	0,844	0,832		
А11	0,853	0,898	0,801	0,600	0,511	0,461	0,434	0,299	0,265	0,284	0,447	0,444	0,441	0,442	0,603	0,586	0,584	0,785	0,784	0,867	

Повышение производительности труда в геодезическом производстве, особенно при математической обработке геодезических измерений может быть решено только путем применения мощных компьютеров. Имеющиеся комплексы программ для решения геодезических задач очень дорогие, и не каждое предприятие может позволить себе приобрести даже часть программ из всего того, что предлагает в настоящее время рынок программных продуктов. Автор применил имеющиеся алгоритмы классического уравнивания для сетей нивелирования на действующем предприятии и воспользовался программным обеспечением компьютера.

Следует заметить, что весь процесс уравнивания непосредственно за компьютером составляет примерно 1 час, переуравнивание - всего 5-10 минут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. Д., Маркузе Ю.И., Голубев В.В. Уравнивание геодезических построений. М.: Недра. 1989.
2. Михайлович К. Геодезия. М.: Недра. 1978.
3. Шерстюков А.Д., Балашов А.И. Справочное пособие по геодезическим работам при возведении гидротехнических сооружений. М.:Недра. 1990.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛОВОДНЫХ ВОЛН С УЧЕТОМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ПО ДАННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Школьников С.Я., кандидат техн. наук (АО НИИЭС)

При численном моделировании половодных волн в реках обычно используют одномерные уравнения Сен-Венана или упрощенные математические модели - уравнения диффузионной или кинематической волны [1]. В этих уравнениях гидравлическое трение задается при помощи формул Шези или Дарси-Вейсбаха. При их использовании необходимо знать коэффициент шероховатости русла n или высоту эквивалентного выступа шероховатости d . Эти величины могут быть определены из натуральных наблюдений за течениями в реке. Операция идентификации n или d достаточно сложна [2] и требует применения методик, превосходящих по сложности методику численной реализации решаемых уравнений. Известно, что

значения n и d могут меняться с изменением глубины [3], поэтому для оценки пропускной способности русла требуется идентифицировать n или d при различных заполнениях.

В отделе водного хозяйства и охраны окружающей среды АО «Институт Гидропроект» накоплено большое количество натуральных наблюдений за реками. Эта информация систематизирована в виде таблиц, задающих функции связи отметки свободной поверхности, расхода реки, площади живого сечения и ширины потока попереху для достаточно представительного набора створов вдоль русла. В данной работе рассматривается методика непосредственного использования этих данных для математического моделирования половодных волн, при этом процесс идентификации параметров, определяющих гидравлическое трение, происходит одновременно с решением уравнений Сен-Венана.

Нестационарный гидродинамический режим в реках и каналах описывается уравнениями Сен-Венана в форме законов сохранения [4]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} &= q, \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Qv + gS)}{\partial x} - g \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{z_{c.n.} = \text{const}} + \frac{\tau}{\rho} &= \psi, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где ω - площадь поперечного сечения потока; S - статический момент сечения относительно свободной поверхности; Q - расход; v - скорость; g - ускорение свободного падения; Z_{cn} - отметка свободной поверхности потока; q - путевой приток, приходящийся на единицу длины русла; ψ - погонная составляющая импульса, вносимого в поток боковой приточностью, тангенциальная динамической оси русла; τ - погонная сила гидравлического трения; ρ - плотность воды; t - время; x - продольная координата. Уравнения (1) имеют аналитические решения лишь в исключительных ситуациях [5]. В большинстве случаев прогноз уровня режима в руслах сложной формы и при нетривиальных граничных условиях может быть выполнен лишь численными методами. Уравнения (1) удобно записывать в матричном виде:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial X}{\partial x} = R, \quad (2),$$

$$\text{где: } T = \left\| \frac{\omega}{Q} \right\|, \quad X = \left\| \frac{Q}{Qv + gS} \right\|, \quad R = \left\| g \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{Z_{cn} = \text{const}}^q - \frac{\tau}{\rho} + \psi \right\|.$$

Для контрольных створов, в которых располагаются гидрологические посты, имеются функции связи между уровнем и расходом. Они соответствуют квазиустановившемуся режиму течения, характерному для половодных волн на равнинных реках. Естественно предположить, что существует возможность интерполяции этих зависимостей на промежуточные створы, то есть для реки может быть установлена зависимость:

$$Z_{cn}(x, t) = F(x, Q(t)). \quad (3)$$

Наличие этой зависимости позволяет идентифицировать гидравлическое трение, соответствующее данному расходу и уровню:

$$\frac{\hat{\tau}}{\rho} = \left[g \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{Z_{cn} = \text{const}} - \frac{d(\hat{Q}\hat{v} + gS)}{dx} \right]_A, \quad (4)$$

где параметры, помеченные сверху символом « $\hat{}$ », относятся к установившемуся течению; нижний индекс A символизирует условие $A: \{\hat{Q} = \text{const}\}$, если влияние боковой приточности невелико, или $A: \{\hat{Z}_{cn}(x) = Z_{cn}(x), d\hat{Q}/dx = \hat{q}\}$, если оно существенно.

Одной из гипотез, при помощи которых строились одномерные уравнения Сен-Венана, была гипотеза о совпадении гидравлического трения в установившемся и неустановившемся потоках при одинаковой скорости и глубине, в соответствии с которой полученная формула справедлива и для неустановившегося режима течения. Как правило, при этом также принимают гипотезу о применимости квадратичного закона гидравлического трения [4]. При использовании этих гипотез член, задающий гидравлическое трение в уравнениях (1) и (2), представляется в виде:

$$\frac{\tau}{\rho} = \frac{\hat{\tau}}{\rho} \frac{Q|Q|}{\hat{Q}^2} \quad (5)$$

Формула (5) выполняется точно лишь для широких прямоугольных русел; ее применение при решении задачи о распространении поперечных волн допустимо, если вычисленные значения расхода и уровня лежат достаточно близко от кривой связи расхода и уровня (3).

Приведем явную конечно-разностную схему, аппроксимирующую уравнения (1), (4) и (5). Рассматривается вариант явной схемы А.Н.Милитеева [6], в которой некоторые параметры потока (отметка свободной поверхности, глубины, геометрические характеристики сечений и др.) задаются в середине ячеек сетки и нумеруются целыми номерами, а остальные (расход, скорость, гидравлическое трение и др.) задаются на границе между ячейками и нумеруются дробными номерами, являющимися средними арифметическими между номерами соседних ячеек:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\omega_k^1 - \omega_k}{\Delta_t} + \frac{Q_{k+1/2} - Q_{k-1/2}}{\Delta_x} &= q_k, \\ \frac{Q_{k+1/2}^1 - Q_{k+1/2}}{\Delta_t} + \frac{K_{k+1} - K_k}{\Delta_x} + g \frac{S_{k+1}(Z_{c.n.k+1}^1) - S_k(Z_{c.n.k}^1)}{\Delta_x} - \\ - g \frac{S_{k+1}(\bar{Z}_{c.n.k+1/2}) - S_k(\bar{Z}_{c.n.k+1/2})}{\Delta_x} + \frac{\tau_{k+1/2}}{\rho} &= \psi_{k+1/2}, \end{aligned} \right\} (6)$$

при

$$K_k = 0,5[(Qv)_{k+1/2} + (Qv)_{k-1/2} - (|Q|v)_{k+1/2} + (|Q|v)_{k-1/2}],$$

$$\tau_{k+1/2} = \hat{\tau}_{k+1/2} \frac{|Q_{k+1/2}| Q_{k+1/2}^1}{\bar{Q}^2},$$

где

$$v_{k+1/2} = \begin{cases} Q_{k+1/2} / \omega_k & \text{если } Q_{k+1/2} > 0, \\ Q_{k+1/2} / \omega_{k+1} & \text{если } Q_{k+1/2} < 0, \end{cases}$$

Здесь сеточные функции обозначены так же, как и их непрерывные аналоги, их нижние индексы указывают номера точки сетки по пространственной координате x , верхний индекс «1» обозначает, что функция относится к новому временному слою; для функций, относящихся к старому временному слою верхний индекс не показывается, $\bar{Z}_{cnk+1/2}$ - некоторая отметка свободной поверхности, лежащая между отметками k -й и $k+1$ -й точек, Δ_t, Δ_x соответственно шаг по времени и длине. Величина \hat{t} , необходимая для задания гидравлического трения, при течении, направленном вдоль оси x , определяется следующим образом:

$$\frac{\hat{t}_{k+1/2}}{\rho} = - \left[\frac{\hat{K}_{k+1} - \hat{K}_k}{\Delta_x} + g \frac{S_{k+1}(\hat{Z}_{c.n.k+1}) - S_k(\hat{Z}_{c.n.k+1})}{\Delta_x} - g \frac{S_{k+1}(\bar{Z}_{c.n.k+1}) - S_k(\bar{Z}_{c.n.k})}{\Delta_x} - \psi_{k+1/2} \right], \quad (7)$$

где $\hat{Z}_{c.n.k} = \bar{Z}_{c.n.k}(\hat{Q}_{k+1/2})$, $\hat{Z}_{c.n.k+1} = \bar{Z}_{c.n.k}(\hat{Q}_{k+1/2} + q\Delta_x)$,

$$\bar{K}_k = (\bar{Q}_k)^2 / \omega_k(Z^1_{c.n.k}),$$

$\bar{Z}_{c.n.k}, \bar{Q}_k$ - заданные таблично функции связи $Z_{c.n.} - Q$ и $Q - Z_{c.n.}$ соответственно для k -го створа, полученные путем интерполяции с соответствующих функций, найденных посредством наблюдений за квазистационарными режимами в натуре.

Рассмотрим при помощи вышеописанной методики условия прохождения по участку р. Волги в пределах нынешнего Чебоксарского водохранилища (в естественных условиях) длинной волны, вызванной внезапным увеличением расхода от 3 до 20 тыс. м³/с. На рис.1 для нескольких створов построены графики изменения во времени отметки свободной поверхности, расхода, а также того расхода установившегося течения, который соответствовал бы текущему уровню воды в реке. При установлении течения графики расходов сливаются между собой,

что является тестом на правильность работы программы. По всей длине расчетной области график расхода располагается выше графика расхода при равномерном течении, что естественно ожидать в разгонном режиме. Из рассмотрения результатов видно, что процесс установления по всей длине расчетного фрагмента продолжается около 16 суток. Как показали численные эксперименты, при изменении значения скачка расхода во входном створе это время меняется слабо.

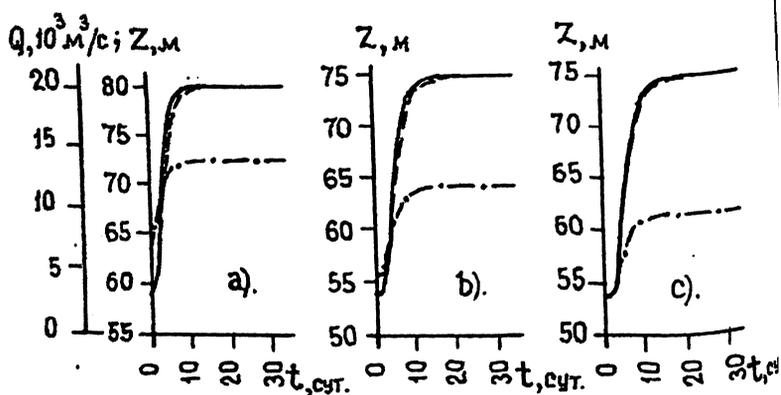


Рис.1. Внезапное изменение расхода во входном створе расчетного фрагмента р.Волги. Графики изменения во времени расхода уровня. Створы: а - 77,5км ниже Нижегородской ГЭС (пос. Костово); б - 216км ниже Нижегородской ГЭС (г.Васильсурск); с - 257,5км ниже Нижегородской ГЭС (г.Козьмодемьянск).

----- - уровень свободной поверхности воды;
 - - - - - расход;
 - - - - - расход, соответствующий этому уровню в квазистатическом режиме, по которому идентифицируется трение.

Для этих же условий рассмотрим задачу о прохождении экстремального половодья с максимальным расходом воды обеспеченностью 0,01%. При этом в створе Нижегородского гидроузла задается гидрограф, соответствующий наличию гидроузла. Таким образом, рассматриваемый вариант соответствует периоду нормальной эксплуатации Нижегородской ГЭС до начала строительства Чебоксарской ГЭС. На рис.2 представлены полученные в ходе численного эксперимента графики изменения во времени отметки свободной поверхности и расхода воды для некоторых створов рассматриваемого участка р. Волги.

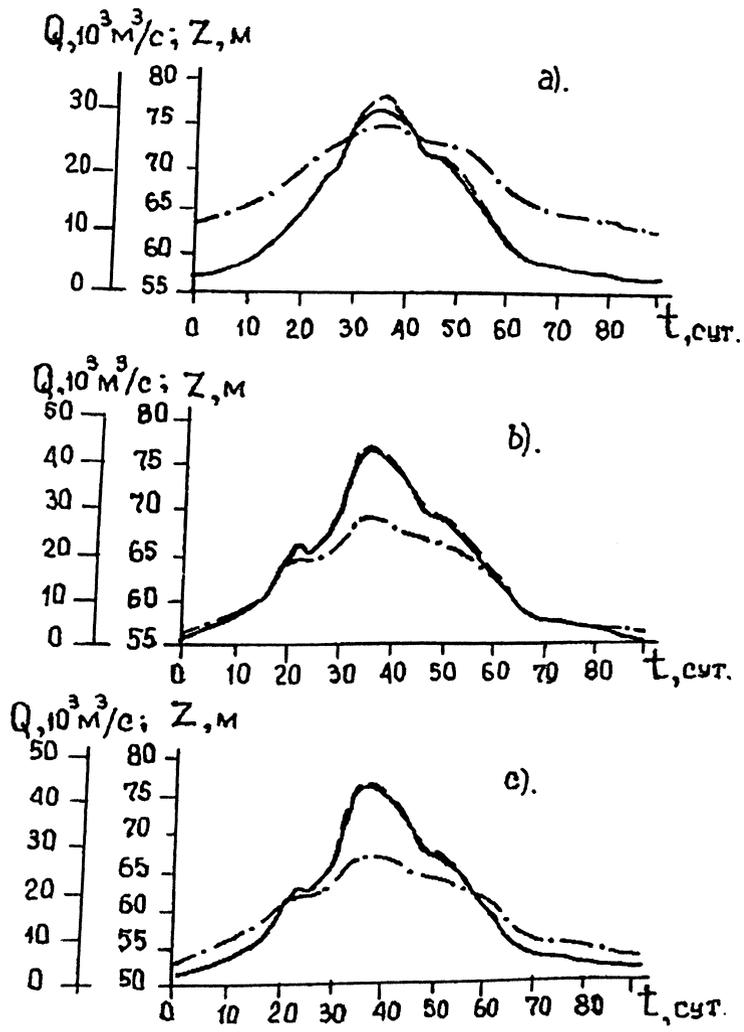


Рис.2. График изменения расхода уровня р.Волги при прохождении половодья с вероятностью, превышения 0,01% Створы: а- 77,5км ниже Нижегородской ГЭС (пос. Костово); б - 216км ниже Нижегородской ГЭС (г.Васильсурск); с - 257,5км ниже Нижегородской ГЭС (г.Козьмодемьянск).
 - - - - - уровень свободной поверхности воды; — - расход;
 - · - · - расход, соответствующий этому уровню в квазистатическом режиме, по которому идентифицируется трение.

Для сравнения на этих же рисунках представлены графики расхода, соответствующего уровню воды в установившемся режиме, использовавшемся для идентификации гидравлического трения. Для этих створов расходы, полученные в ходе численного эксперимента с неустановившимся режимом и наблюдаемые в режиме, условно принятом за установившийся, оказались достаточно близкими друг к другу, что является подтверждением достоверности применяемой методики. Заметим, что столь хорошее совпадение вычисленных и наблюдаемых расходов получается лишь для створов, расположенных ниже места впадения крупных притоков Оки и Суры. Выше же их впадения, в зоне подпора, уровенный режим существенно зависит от расхода притока, в условиях рассматриваемого половодья много превосходящего наблюдавшийся в квазиустановившихся режимах, по которым идентифицируется гидравлическое трение, и даже превосходящего расход по основному руслу. Так, в течение почти всего апреля сбросной расход Нижегородского гидроузла не превышает $1000\text{ м}^3/\text{с}$, в то время как по Оке проходит на порядок больший расход, превышающий $20000\text{ м}^3/\text{с}$. В квазистационарных режимах, для которых построена связь расхода и уровня (3), ситуация была другой: расход воды в русле р.Волги много превосходил расход в русле р.Оки; при этом для створа Сормово-6, расположенного выше устья р.Оки, расходу $1000\text{ м}^3/\text{с}$ соответствовал уровень $63,7\text{ м}$, а для створа Нижний Новгород, расположенного ниже устья, расходу $12000\text{ м}^3/\text{с}$ (то есть почти в два раза меньшему расхода воды в этом створе в рассматриваемом численном эксперименте) - уровень $70,7\text{ м}$. Таким образом, при столь большом расходе Оки уровень воды выше ее устья в русле р.Волги в основном определяется не расходом Волги, а расходом р.Оки.

При математическом моделировании прохождения по рекам половодных волн прогнозируемый уровенный режим в большинстве ситуаций будет достаточно близок к наблюдаемому в тех режимах, по которым идентифицируется τ/ρ . В такой ситуации оценка гидравлического трения по выше описанной методике должна быть достаточно реалистичной и, по-видимому, данный подход к его заданию наиболее естественен. Заметим, однако, что при прохождении расхода при отметках поверхности воды, сильно отличающихся от соответствующих ему в рассматриваемых квазиустановившихся режимах, возможны определенные неточности, свя-

занные с тем, что при одной и той же глубине потока при увеличении расхода его доля, проходящая по русловой части, возрастает, а по пойменной - убывает. В такой ситуации желательно применение более точных моделей - плановой или одномерной, учитывающей распределение скорости в плане [7]. Эта же проблема возникает и при использовании традиционной методики задания гидравлического трения.

По-видимому, определенные сложности в использовании вышеописанной методики могут возникнуть из-за возможной немонотонности функции связи отметки свободной поверхности и расхода. В установившемся режиме течения при известной форме и шероховатости русла отметка свободной поверхности в створе, удаленном от входного сечения на расстояние x , является функцией глубины во входном сечении и расхода воды. Нетрудно видеть, что монотонное возрастание глубины при увеличении расхода во входном створе не гарантирует такой же монотонности по всему руслу, даже если течение во всей расчетной области спокойное.

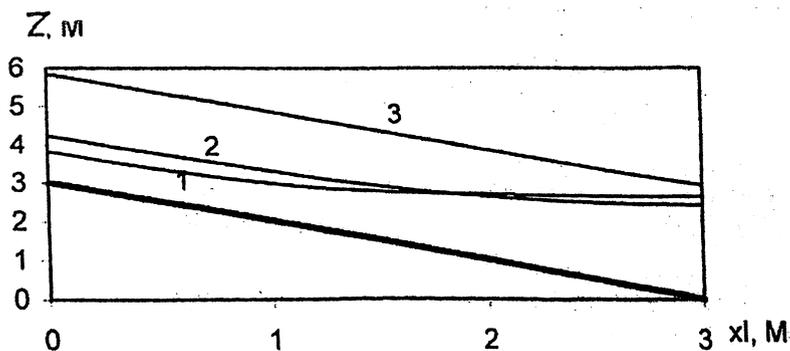


Рис.3. Кривые свободной поверхности в канале с постоянным уклоном и выступом шероховатости. Уровень во входном створе превышает уровень равномерного течения для данного расхода воды на небольшое постоянное значение (0,03м);

1) $q/\sqrt{g} = 0,16$; 2) $q/\sqrt{g} = 0,32$; 3) $q/\sqrt{g} = 1,25$.

На рис.3 представлены кривые свободной поверхности в широком прямоугольном русле с постоянным уклоном и шероховатостью (при использовании формулы Маннинга в виде $\lambda = \alpha^3 \sqrt{d/h}$, где $d(\alpha/2I)^3 = 8000\text{м}$, I - уклон дна водотока); во входном сечении фрагмента русла глубина возрастает с ростом

расхода, а на выходе из области такой монотонности нет. Заметим, однако, что в исходных данных для рассмотренного выше участка р. Волги для всех створов функции связи отметки свободной поверхности и расхода были монотонны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучмент Л.С. Модели процессов формирования речного стока. Л.: Гидрометеиздат. 1980.
2. Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С. Численный метод решения некоторых обратных задач гидравлики. // Водные ресурсы. 1981. 3.
3. Железняков Г.В. Пропускная способность русел, каналов и рек. Л.: Гидрометеиздат. 1981.
4. Школьников С.Я. К вопросу о конструировании конечно-разностных схем для дифференциальных уравнений неустановившегося течения в непризматическом русле. // Гидротехническое строительство. 1988. 5.
5. Гладышев М.Т. К задаче о распаде начальных разрывов в открытых руслах. // Известия ВУЗов. Энергетика. 1968. 3.
6. Милитеев А.Н., Сладкевич М.С. Разностная схема для решений плановых уравнений мелкой воды. // Деп. научн. работы. ВИНТИ. 1983 г. вып. 3.
7. Кюнж Ж.А., Холли Ф.М., Вервей А. Численные методы в задачах речной гидравлики. М.: Энергоатомиздат. 1985.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОПУСКА ПАВОДКОВ В СТЕСНЕННЫХ ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ НА ГИДРОУЗЛЕ КОУСАР (ИРАН)

*Родионов В.Б., Куприянов В.П., кандидаты техн. наук
(АО НИИЭС)*

Гидроузел Коусар сооружается в Иране на р. Хаир-Абад в 35 км на северо-восток от города Бехбаган. Назначение гидроузла - обеспечение потребностей промышленного водоснабжения и ирригации провинции Бушер.

Река Хаир-Абад зарождается на южных склонах хребта Загрос и впадает в Персидский залив. Створ плотины расположен у крутой излучины реки в чрезвычайно узком каньоне с практически вертикальными бортами. Его ширина на уровне дна (примерно отметка 500,0 м) составляет 6,0...10,0 м, а на уровне отметки 580,0 м - 40,0...45,0 м. Русло реки сложено в основном из плотных слоистых известняков. Их физические свойства практически не изменяются во всех инженерно-

геологических зонах. Массив горных пород имеет совершенную систему трещин. Размер скальных блоков в среднем составляет $b \times b \times h = 3,5 \times 3,5 \times 3,0$ м.

Река Хаир-Абад характеризуется непродолжительными резко нарастающими паводками, преимущественно ливневого питания. Приточный расход с ежегодной вероятностью превышения 0,1% (основной расчетный случай) составляет $5800 \text{ м}^3/\text{с}$, а максимально возможный паводок (PMF) - $14000 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для столь стесненных условий как на гидроузле Коусар организация пропуска паводков через створ гидроузла является чрезвычайно сложной задачей. Было принято решение обеспечить аккумуляцию значительной части паводкового стока (около 40%) в водохранилище, а оставшийся паводок пропустить через основной и дополнительный водосбросы. Это условие и определило компоновку гидроузла, в состав которого вошли: бетонная гравитационная плотина высотой 138,0 м, два отдельных водосброса и ряд эксплуатационных водопропускных сооружений (рис.1). Значения суммарного сбросного расхода в случае пропуска паводка с вероятностью превышения 0,1% и максимально возможного паводка (PMF) соответственно составляют $3230 \text{ м}^3/\text{с}$ и $8730 \text{ м}^3/\text{с}$.

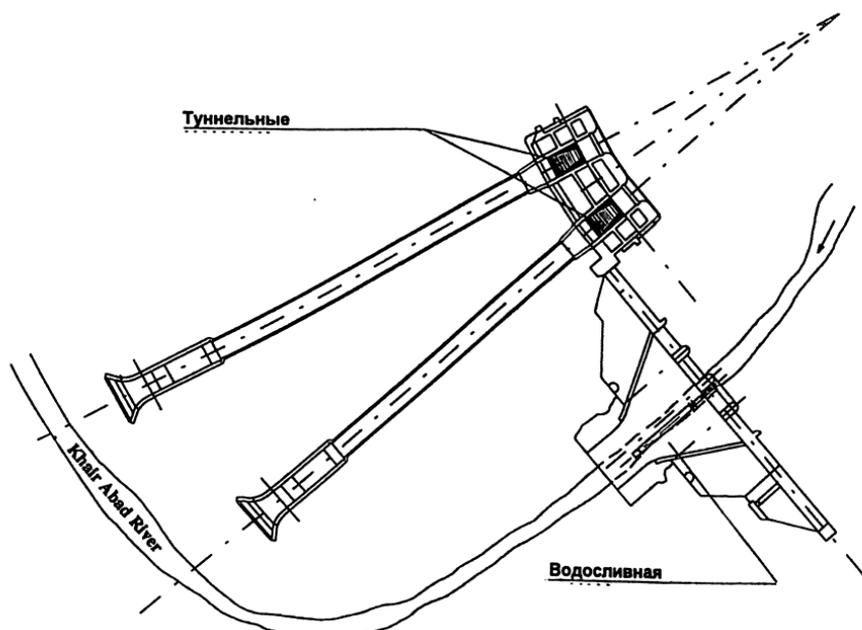


Рис.1. Схема расположения водосбросных сооружений.

Основные водосбросные сооружения - два регулируемых туннельных водосброса, располагаемых на правом берегу, состояли из объединенного входного портала, отводящих туннелей и концевого рассеивающего трамплина (рис.2). Входной портал включает два одинаковых водосливных пролета, шириной по 12,0м каждый, перекрываемых сегментными затворами.

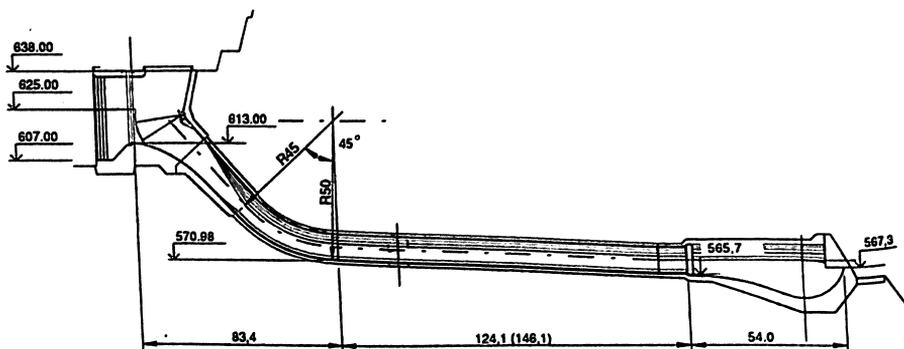


Рис.2. Туннельный водосброс

Водосливные пороги в пролетах были выполнены в виде водослива практического профиля. Отводящие туннели имеют корытообразное сечение $b \times h = 10,0 \times 10,0$ м.

Сопряжение бьефов осуществляется отброшенной струей. Выбранное местоположение и конструкция водосбросов обеспечили отброс расширяющегося потока вдоль русла реки. Однако речной каньон в створе гидроузла настолько узок, что организовать падение потока в пределах русла практически невозможно: он неизбежно будет попадать на берега. Наилучший результат, обеспечивающий максимальное расширение потока и его минимальное воздействие на скальные борта, достигается при отбросе струи под большим углом к горизонту. Значение оптимального угла выходной грани рассеивающего трамплина было подобрано экспериментально, исходя из условия управляемости потока и устойчивости струи во всем диапазоне эксплуатационных расходов, включая РМФ. Его значение составило 75° , при этом угол расширения потока в плане достигал 95° . При меньшем значении угла наклона выходной грани рассеивающего трамплина расширение потока уменьшалось, и увеличивался угол падения на скальный борт. При больших значениях этого угла, в случае пропуска поверочных расходов, на концевом участке водосброса устанавливался напорный режим, и трамплин переставал работать.

Дополнительный водосброс запроектирован в центральной части бетонной гравитационной плотины и представляет собой автоматический водослив практического профиля с гребнем на отметке 630,0м (рис.3). Эта отметка соответствует форсированному уровню воды в водохранилище при пропуске паводка с вероятностью превышения 0,1%, то есть работа водосливной плотины предусматривалась только при пропуске паводков поверочного расчетного случая. Данное решение направлено на ограничение случаев использования дополнительного водосброса с целью исключения деформаций русла непосредственно за плотиной при прохождении рядовых паводков.

Водослив плотины имеет четыре пролета шириной 15,0м каждый, разделенных промежуточными бычками толщиной 5,0м. Водосливная поверхность на низовой грани ограничена с обеих сторон бетонными стенками, которые сужаются в сторону нижнего бьефа под углом 30°, стесняя поток в 3 раза до ширины 25,0м. В конце водослива предусмотрен носок, отбрасывающий поток в русло реки под углом 22° к горизонту. Низовая грань водосливной плотины выполнена ступенчатой, что способствует более равномерному распределению потока по ширине водосливной грани. Последнее обстоятельство крайне важно, учитывая необходимость значительного сужения потока на плотине.

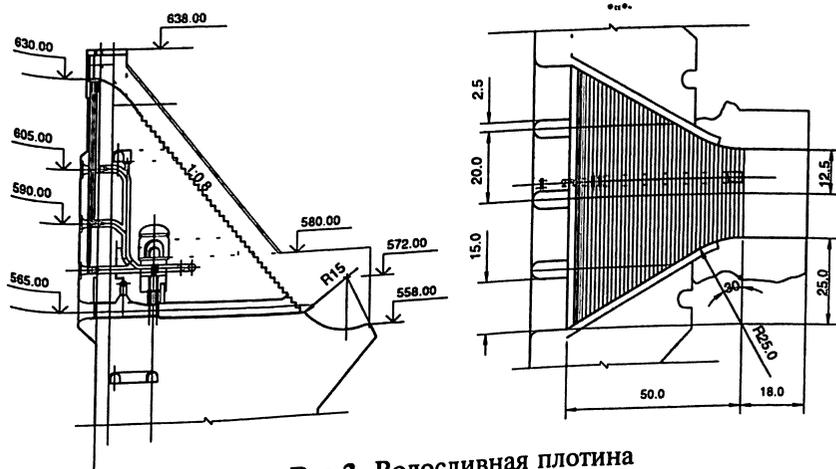


Рис.3. Водосливная плотина

Таким образом, сопряжение бьефов за каждым из водосбросов осуществляется отброшенной струей. При этом область

сопряжения потоков значительно рассредоточена на участке реки длиной более 700 м, что позволило организовать гашение избыточной энергии непосредственно в русле реки.

С целью оценки возможных деформаций русла и оптимизации конструкций водосбросных сооружений были выполнены экспериментальные исследования на пространственной гидравлической модели, изготовленной масштабе 1:70.

В результате исследований туннельных водосбросов было установлено, что при пропуске расходов до $640,0...660,0\text{ м}^3/\text{с}$ поток за трамплином падает на концевую плиту и скатывается в реку по склону правого берега. При пропуске расходов более $1000\text{ м}^3/\text{с}$ поток попадает преимущественно в русло реки и частично на левый борт каньона, причем с увеличением расхода форма траектории отброшенной струи уположивается. Эти условия практически идентичны как для левого, так и для правого водосбросов. Однако за правым водосбросом интенсивность воздействия потока на скальный массив несколько больше, так как здесь расстояние до левого склона каньона от выходного сечения трамплина меньше, чем за левым водосбросом. Схемы сопряжения бьефов за туннельными водосбросами приведены на рис.4. В плане струя за трамплинами имеет значительное расширение. Отброшенная струя в поперечном сечении имеет три характерных гребня (по центру и по краям), однако удельные расходы распределяются по ее ширине относительно равномерно и не превышают $15...17\text{ м}^2/\text{с}$. Ширина струи в месте соударения с бортом достигает $160...180\text{ м}$. После соударения с берегом основная масса воды падает в русло вдоль склона, а часть ее поднимается на некоторую высоту вверх по склону. При совместной работе туннельных водосбросов потоки практически не накладываются друг на друга.

На модели изучалась также деформация русла в створе выхода потока из туннельных водосбросов.

При моделировании локального размыва скального грунта существует несколько подходов к воспроизведению характеристик грунта на модели. Применительно к задаче размыва борта узкого каньона можно использовать два способа моделирования: замену скального грунта связным грунтом и воспроизведение блочной структуры скального массива [1].

В связи с тем, что как для скального грунта, так и для связного грунта характерно разрушение в областях повышенного гидродинамического воздействия, некоторые исследователи предлагают оценивать размыв скального грунта по размыву

связного грунта на модели. Богатый опыт применения такого подхода имеется в России [2,3]. Такой прием используется в ряде зарубежных лабораторий, например в Национальной лаборатории Франции. В качестве связного материала на моделях используются песчано-цементные, песчано-гипсовые, песчано-глинистые и т.п. композиции. В качестве одного из критериев для подбора материала принимается условие, чтобы отношение неразмывающих скоростей для грунта на модели и в натуре равнялось масштабу скоростей. Недостатком способа являются несоблюдение подобия неоднородности массива, отсутствие воспроизведения системы трещин и т.д. Размываемый материал на модели разрушается главным образом путем отрыва мелких частиц, не образующих бара.

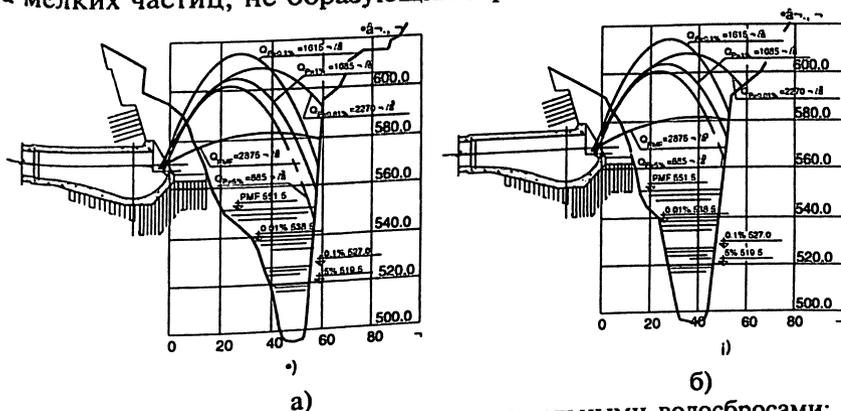


Рис.4. Схема сопряжения потока за туннельными водосбросами: а - левый туннель; б - правый туннель.

При применении другого способа скальный грунт схематизируется совокупностью блоков и воспроизводится на модели бетонными параллелепипедами, уложенными вплотную друг к другу. Размеры этих параллелепипедов принимаются соответственно размерам заданных отдельных скального массива, а также ориентация - основным системам трещин. При этом, чтобы при выпадении одной области массива, зазоры между отдельностями целой области массива, зазоры между отдельностями заполняются связующим коллоидным материалом. В качестве последнего может применяться известковый, меловой или глинистый раствор. Модель скального грунта, полученная таким образом, обеспечивает возможность воспроизведения крутых откосов при относительно малой проницаемости массива. К ее недостаткам следует отнести невозможность разру-

шения отдельностей на модули в процессе размыва. Указанный подход моделирования размывов в скальных грунтах был неоднократно использован в зарубежной [3] и российской практике [4,5,6]. В частности, он применялся при исследованиях Могилев-Подольской ГЭС на р. Днестр, Константиновского гидроузла на р. Южный Буг, Зейской ГЭС, Бурейского гидроузла и ряда других объектов. Сопоставление натуральных размывов с лабораторным прогнозом, выполненное для ряда гидроузлов, дало вполне удовлетворительные результаты [7]. Учитывая преимущества данного метода, ему было отдано предпочтение в наших исследованиях, несмотря на значительную трудоемкость изготовления модели.

При выполнении экспериментальных исследований размеры отдельных блоков, используемых для воспроизведения блочной структуры грунта, были приняты в соответствии с геометрическим масштабом модели и равнялись $50 \times 50 \times 43$ мм. Они изготавливались из бетона и имели плотность $2,2 \dots 2,4$ кг/м³. В качестве связывающего материала использовался глинистый раствор. Ширина зазора принималась равной 2 мм. Экспериментально установлено, что при такой ширине обеспечивается максимум вырывающих гидродинамических нагрузок на отдельности [6].

На модели изучались размывы в створе выхода потока из правого туннельного водосброса, за которым наблюдалось наиболее интенсивное воздействие на борт каньона. Длина размываемого участка русла составляла 170 м и имела высоту от отметки 470,0 м до отметки 610,0 м. Размываемый материал укладывался на обоих берегах мощностью до 50 м. Деформируемый участок русла полностью перекрывал зону воздействия потока, выходящего из правого туннеля и, частично, из левого. В процессе исследований было выявлено отсутствие размывов дна русла реки в створе выхода туннельных водосбросов во всем диапазоне расходов.

При пропуске через оба туннеля расхода ~ 1300 м³/с были зафиксированы начальные деформации в отводящем русле. Они выражались в виде локального разрушения склона правого берега непосредственно по оси туннельного водосброса примерно на высоте уровня воды. Данные разрушения были вызваны в основном волновыми явлениями (в месте разрушения имело место наибольшее колебание свободной поверхности воды), способствующими проникновению гидродинамического давления по трещинам скального массива.

Глубина обрушения равнялась ширине одного скального блока и не превышала 3,5м.

После увеличения пропускаемых расходов через оба туннеля поток в основном воздействовал на левый борт каньона. Его незначительное начальное разрушение наблюдалось лишь после пропуска паводка с вероятностью превышения 1,0%, максимальный сбросной расход при этом был равен $2170\text{м}^3/\text{с}$.

При пропуске паводков меньших вероятностей деформационные процессы в русловом каньоне увеличивались, однако интенсивность разрушений можно оценить как незначительную. В частности после пропуска паводка основного расчетного случая ($P=0,1\%$, $Q_{\text{макс}}=3230\text{м}^3/\text{с}$) была зафиксирована наибольшая глубина размыва берега 7,0м, а после пропуска РМФ - 10,5м (рис.5). Продукты размыва частично уносились потоком (примерно одна третья часть), а частично откладывались на дне реки в виде бара. Наибольшая отметка верха бара была после пропуска РМФ и не превышала $V535,0\text{м}$. Наличие бара не привело к подтоплению носка водосливной плотины и практически не влияло на условия пропуска расходов по руслу реки.

При работе дополнительного водосброса поток за водосливным оголовком имел неоднородную структуру: за бычками наблюдался разрыв сплошности потока, а у боковых стенок из-за их сильного сужения поток концентрировался. Однако благодаря ступенчатой форме водосливной грани удельные расходы быстро выравнивались и практически равномерно распределялись по ширине носка-трамплина. Кроме того, применение ступенчатого водослива позволило обеспечить кавитационную безопасность за счет самоаэрации потока и увеличить интенсивность гашения энергии потока вдоль поверхности водосброса. Экспериментально было установлено, что на водосливе со ступенчатой гранью дополнительно гасится от 7 до 14 % кинетической энергии потока по сравнению с гладким водосливом.

Сопряжение бьефов за плотиной осуществлялось отбросом струи под небольшим углом к горизонту. Отбрасываемая струя имела практически прямоугольное сечение и падала, в основном, в русловой каньон. Схемы сопряжения потока за водосливной плотиной показаны на рис. 6.

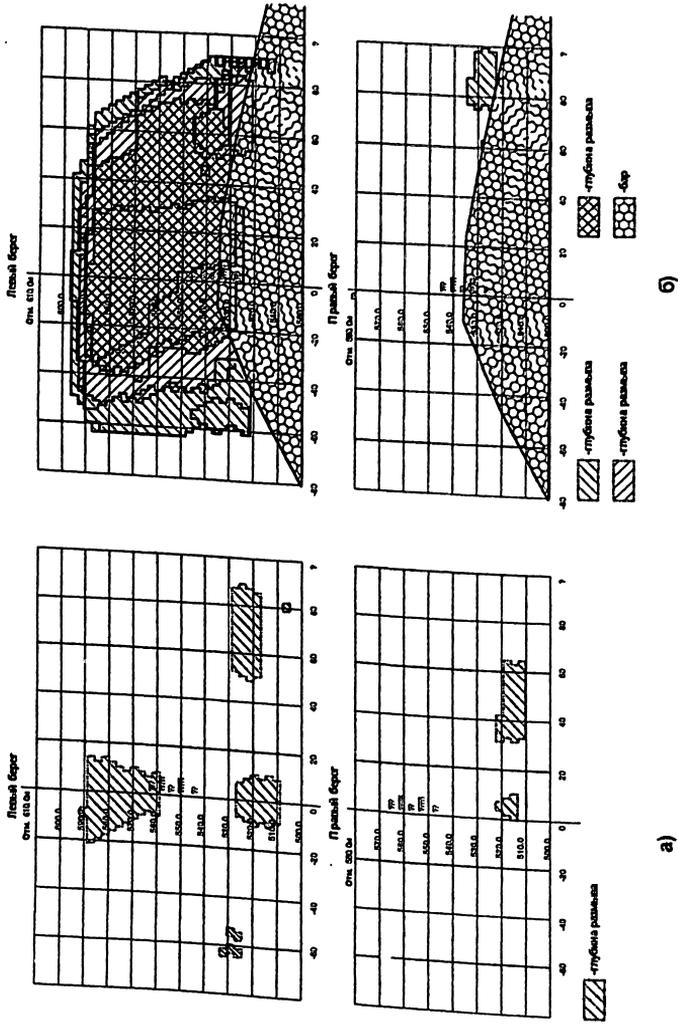


Рис. 5. Деформации на правом и левом берегах на участке выхода потока из туннельного водосбора: а - после прохождения паводка с максимальным расходом $Q_{P=0.1\%} = 3230 \text{ м}^3/\text{с}$; б - после прохождения паводка с максимальным расходом $Q_{P=MF} = 8730 \text{ м}^3/\text{с}$

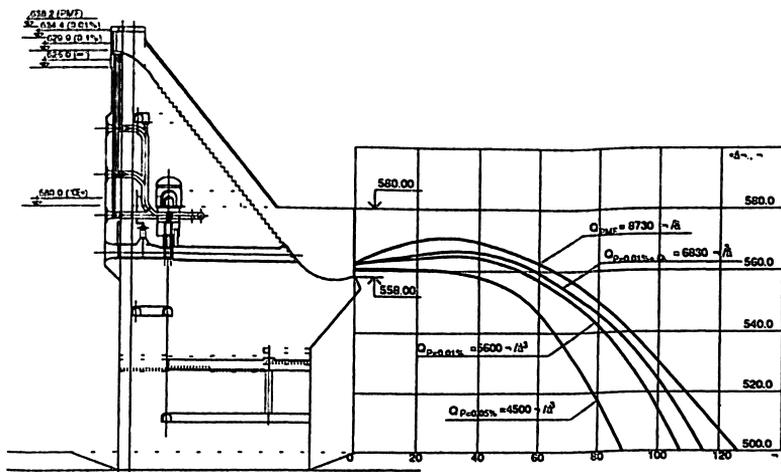


Рис.6. Схема сопряжения потока за водосливной плотиной

Для прогноза размыва за водосливной плотиной использовался несколько иной подход, чем при изучении размывов за туннельными водосбросами. Известно, что наибольшая ширина промыва ущелья за струей, сходящей с трамплина, не превышает размеров струи. Поэтому для оценки деформаций за плотиной в процессе экспериментальных исследований производилось измерение траектории струи и ее ширины в месте контакта с бортами ущелья. Оценивалась также глубина размыва. С этой целью дно ущелья за плотиной на модели заменялось размываемым каменным материалом с соблюдением подобия допустимых неразмывающих скоростей. Исследования показали отсутствие размывов дна за водосливной плотиной во всем диапазоне сбросных расходов. Это свидетельствует о том, что глубина размыва за плотиной, которая отсчитывается от уровня поверхности воды, не превышает глубины воды в нижнем бьефе. В ходе исследований было установлено местоположение контакта струи с берегами и определены ее размеры в этом створе. Ширина отбрасываемой струи почти в два раза превышает ширину русла по дну. Поэтому за водосливной плотиной следует ожидать размыва берегов. Предельная ширина размыва русла не может превысить ширину отбрасываемой струи. Исходя из этого условия и геометрических параметров струи, был выполнен прогноз максимально возможных деформаций за водосливной плотиной. Установлено, что в силу несимметричности расположения водосброса наибольшим размывам

будет подвержен левый берег. Начало размывов следует ожидать на расстоянии 40.0...60.0 м от носка водосливной плотины, а наибольшая глубина размыва составит 10.0...12.0 м. Таким образом, деформации берегов за водосливной плотиной будут примерно такими же, как и за водосбросными туннелями. Данные размывы носят локальный характер и не несут опасности с точки зрения обрушения берегов.

Проведенные исследования подтвердили целесообразность устройства в составе гидроузла двух водосбросов: основного и дополнительного. При работе основного водосброса должно быть обеспечено минимальное воздействие сбросного потока на устойчивость плотины. В стесненных горных условиях наиболее рационально использовать схему сопряжения бьефов с отбросом потока, при этом сбросной поток должен быть рассредоточен как можно на большем участке реки с целью недопущения значительных русловых деформаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лятхер В.М., Прудовский А.М. Гидравлическое моделирование. М.: Энергоатомиздат. 1984.
2. Ахмедов А.Т. Размыв скального русла. Алма-Ата: Наука. 1982.
3. Войнов Ю.П., Прудовский А.М., Смирнов Л.В. Экспериментальные приемы определения размыва скального грунта //Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л.: ВНИИГ. 1969. Вып.52.
4. Мирцхулава Ц.Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. М.: Колос. 1967.
5. Рубинштейн Г.Д. Лабораторные исследования местного разрушения скалы в нижних бьефах высоких водосливных плотин //Тр. координационных совещаний по гидротехнике. Л.: ВНИИГ. 1963. Вып.7.
6. Юдицкий Г.А. Моделирование размыва скальных русел за водосливными плотинами с носком-трамплином //Тр. координационных совещаний по гидротехнике. Л.: ВНИИГ. 1969. Вып.52.
7. Рубинштейн Г.Л. Местные размывы скальных русел в нижних бьефах гидроузлов //Известия ВНИИГ. СПб.: 1997 г.230, часть 1.

ВЫБОР КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА РАВНИННЫХ РЕКАХ

Луначи М.Э., кандидат техн.наук (АО НИИЭС)

В послевоенные годы одновременно со строительством каскада Волжских ГЭС в СССР происходило интенсивное освоение гидроресурсов малых рек. При этом осуществлялось как восстановление небольших электростанций, построенных в довоенные годы в соответствии с планом ГОЭЛРО и разрушенных во время войны, так и строительство новых объектов энергетического и комплексного назначения с образованием воднотранспортных путей, связывающих города российских провинций с крупными воднотранспортными артериями страны. Так, по данным [1] в период с 1945 по 1950г.г. строилось до 1000 малых ГЭС (МГЭС) в год, а к 1952г. в эксплуатации находилось 6614 МГЭС.

Подавляющее число МГЭС было построено в европейской части России на равнинных реках с широкими поймами, значительной неравномерностью годового гидрографа и ледоходом во время пропуска паводка. Рабочий напор на МГЭС составлял 3-7м. Указанные особенности, к сожалению, не нашли свое отражение в современных отечественных нормативных документах по проектированию МГЭС.

В основных положениях проектирования гидротехнических сооружений СНиП 2.06.01-86 [2] можно выделить следующие требования, жестко определяющие характеристики компоновки и конструкции основных сооружений МГЭС:

1. Малые гидростанции относятся к III-IV классу капитальности гидротехнических сооружений.
 2. Пропуск паводков осуществляется через водосбросные сооружения МГЭС при отметке НПУ (для нерегулируемых водосбросов - ФПУ).
 3. На время паводка допускается остановка агрегатов МГЭС.
- В соответствии с требованием 1 регламентируется значение паводкового расхода, на который рассчитываются водопропускные сооружения. Условие 2 предопределяет постоянство напорного фронта МГЭС и жесткую взаимосвязь характеристик напорного фронта со значениями паводковых расходов. Условие 3 «запрещает» остановку выработки электроэнергии в межпаводковые периоды.

Прочие положения [2], относящиеся к МГЭС, такие как стандартизация проектов, автоматизация и др., по своим формулировкам носят рекомендательный характер.

Таким образом, концепция проектирования, заложенная в [2] (получившая свое развитие в ведомственных нормативных документах, например [4]), не предполагает качественных отличий конструктивных и компоновочных решений низко- и средненапорных МГЭС и крупных гидроузлов. В результате реализации подходов [2] и большинство выполненных в 80^е - 90^е годы проектов МГЭС оказались экономически неэффективными (стоимость 1 киловатта установленной мощности МГЭС составляла более 2000\$). Строительство МГЭС в этот период и до настоящего времени практически не велось.

На рис.1 показана компоновка Хоробровской МГЭС (N=150кВт) на р.Нерль-Волжская, выполненная в соответствии с требованием [2].

Напорный фронт МГЭС образуется за счет русловой и правобережной грунтовых плотин (суммарной длиной более 200м), полностью перекрывающих низкую пойму реки, а также бетонной переливной стенки длиной более 100м с водосливной кромкой, размещенной на отметке НПУ. Расчетный 320м³/с и поверочный 420м³/с расходы пропускаются через переливную стенку при форсировке уровня воды в верхнем бьефе до 2,1м (это составляет около 40% напора на ГЭС). При такой компоновке сооружений стоимость водосбросных сооружений и дамб составляет более 80% от стоимости всех сооружений и оборудования. При отнесении всех затрат по строительству МГЭС на энергетику, цена одного киловатта установленной мощности оказывается более 5000\$. МГЭС не окупается в течении всего срока эксплуатации.

Вместе с тем инженерные обследования МГЭС, выполненные отделом гидравлических исследований АО НИИЭС в Ивановской, Рязанской, Владимирской, Тамбовской, Смоленской, Калужской, Тульской, Орловской, Ярославской, Московской областях и Мордовии, позволили выявить следующие основные принципы, использованные при проектировании и выборе компоновочных решений МГЭС в годы их массового строительства:

1. Повсеместно применялась русловая компоновка гидроузлов без выноса основных подпорных сооружений на участки поймы. В этом случае здание МГЭС, водосброс и устои береговых примыканий располагались между крутыми берегами русла реки. Грунтовые сооружения на пойме или отсутствова-

ли, или представляли собой поднятые площадки ОРУ, бытовых помещений и потоконаправляющие дамбы, формирующие обтекание незатопляемых сооружений МГЭС при прохождении высоких паводков по пойме реки. Обтекаемые пойменные участки грунтовых сооружений крепились камнем.

2. Водопропускные сооружения не рассчитывались на какие-либо конкретные расходы, так как конструкции их затворного оборудования, в качестве которых использовались поворотные фермы Поаре или откидывающиеся в нижний бьеф плоские затворы, установленные на низкий порог, обеспечивали практически полное открытие живого сечения русла реки для пропуска паводковых расходов. Таким образом напорный фронт МГЭС на период паводка ликвидировался.

3. При пропуске паводков редкой повторяемости допускалось полное затопление конструкций водосбросов, береговых устоев, цокольной части здания (исключая машинный зал), шлюзовых камер и механического оборудования, не содержащего электропривод. В этом случае паводковые расходы пропускались не только через водосбросы, но и в обход основных сооружений гидроузла по пойме реки; сосредоточенный гидравлический перепад на сооружениях гидроузла практически отсутствовал, а режим пропуска паводка по реке максимально приближался к природному.

4. Перед пропуском паводка производилось полное открытие водосбросов и опорожнение водохранилища до бытовых отметок, что также способствовало промыву водохранилища от наносов.

5. Конструкция здания МГЭС выполнялась упрощенной, без спиральных камер и металлических облицовок турбинных трактов, и допускала затопление всех его элементов ниже отметки пола машинного зала.

6. Строительные обводные каналы сохранялись на случай ремонта сооружений.

Анализ вышеперечисленных положений показал, что при их использовании в современных условиях возможно сократить сроки окупаемости низконапорных МГЭС до приемлемых значений в 5-8 лет. Это достигается за счет существенного снижения объемов работ по подпорным и водопропускным сооружениям. Кроме того, исчезает необходимость подробного изучения гидрологических характеристик реки и топографии водохранилища. Отсутствие тяжелых подпорных сооружений по

зволяет также упростить подземный контур МГЭС в условиях выполнения работ на слабых аллювиальных грунтах.

Вместе с тем, как показали выполненные обследования, вывод из эксплуатации большинства МГЭС происходил вследствие аварий на их водопропускных сооружениях. Водосбросы с фермами Поаре (рис.2) или разборными стойками на облегченном свайном деревянном флютбете часто разрушались из-за несвоевременного открытия по недосмотру персонала МГЭС. В результате чего не полностью свернутые фермы попадали под нерасчетные воздействия льда и высокоскоростного потока. Таким образом, использование на водосбросах легких деревянных конструкций и затворного оборудования, требующего тщательного наблюдения и сложного маневрирования, не добавляло надежности сооружениям МГЭС.

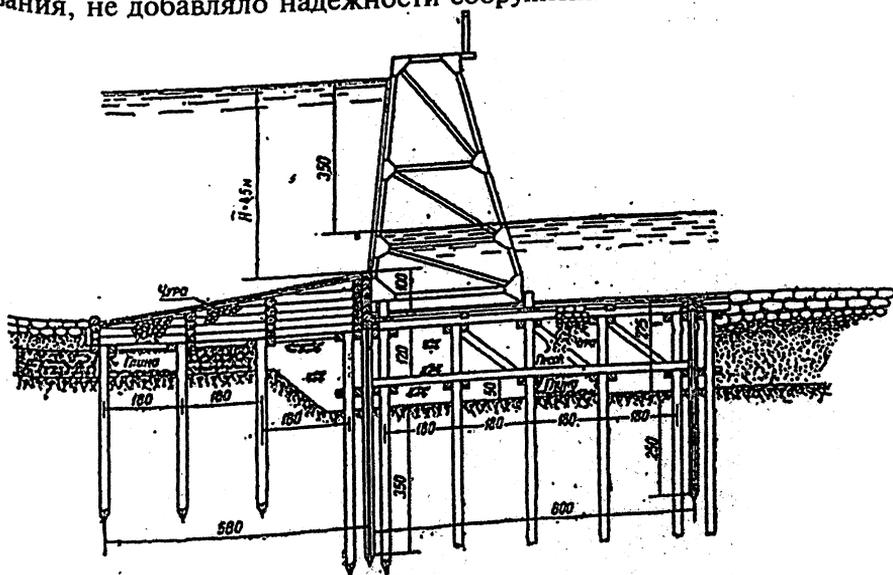


Рис.2. Разборное водопропускное сооружение с фермами Поаре.

Идея использования участков поймы для пропуска паводковых расходов нашла свое весьма радикальное развитие в проектных решениях ряда МГЭС [3] в 80х-90х годах. В соответствии с [3] предлагается использовать пойму при пропуске паводков, исключая дождевые, для которых предусматриваются отверстия в здании МГЭС.

На рис.3 представлена компоновка Кирилловской МГЭС на р.Уста Нижегородской области, в соответствии с которой ве-

сенние половодья пропускаются по низкому участку левобережной поймы, отделенному от остальных сооружений МГЭС струенаправляющей дамбой.

Аналогичная идея реализована при восстановлении Ичалковской МГЭС в Нижегородской области на р.Пьяна (рисунки на цветной вкладке). При реконструкции было отремонтировано сохранившееся бетонное здание ГЭС. Русло р.Пьяна поверх ряжевых конструкций старого водосброса перекрыто переливной плотиной из горной массы, гребень которой несколько понижен относительно левобережной полки низкой поймы реки.

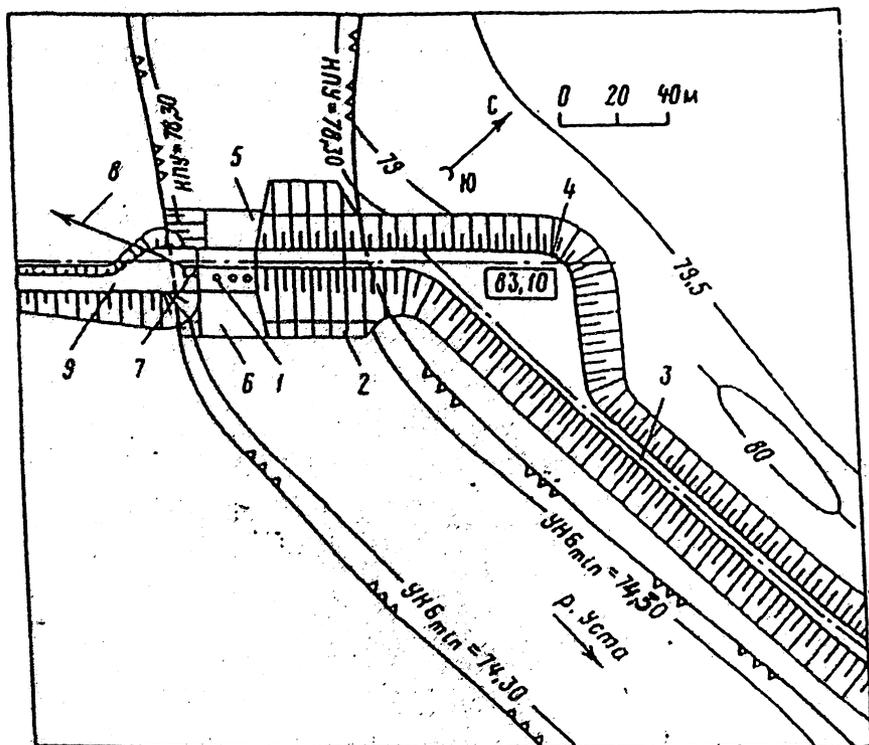


Рис.3. План сооружений Кирилловской ГЭС:

1 - здание ГЭС; 2 - глухая земляная плотина; 3 - струенаправляющая дамба; 4 - льдотклоняющий выступ; 5 - понур; 6 - водобой; 7 - трансформатор ТМ400/10-У1; 8 - ВЛ 10кВ; 9 - дорога к зданию ГЭС.

В межпаводковый период избыточные расходы, не утилизированные двумя гидроагрегатами МГЭС, пропускаются переливом через пониженный гребень плотины. Паводки проходят через плотину, а также по левобережной пойме.

Более чем 10-летний опыт эксплуатации работы восстановленной Ичалковской МГЭС показал следующие негативные особенности принятых компоновочных решений:

«перегрузка» поймы реки часто повторяющимися паводками (которые в естественном режиме реки проходят по руслу) приводит к практически ежегодным размывам участков поймы в примыканиях переливной плотины и здания МГЭС;

отсутствие концентрации расходов на участке МГЭС при пропуске паводков способствует постоянному переформированию русла в окрестности ее сооружений (русло «стремится» уйти на участок левобережной поймы и оставить сооружения МГЭС в старице).

Вместе с тем такая компоновка позволила радикально сократить стоимость восстановления МГЭС (срок окупаемости 1,5-2 года). Кроме того, использование переливной плотины в качестве отвала негабаритной горной массы карьера строительного гравия, находящегося в непосредственной близости от МГЭС, сводит к минимуму затраты на ремонтные работы после размывов.

На основании анализа результатов инженерных обследований сооружений МГЭС на реках бассейнов Оки и верхней Волги, реках Калининградской, Ленинградской и Новгородской областей, проектных материалов АО «Гидропроект», «Сельэлектро», проектных предложений ведущих зарубежных фирм (FLYGT, VOITH AG, BRIGESTONE, HYDROPLUS), нормативных документов ниже приводятся рекомендации по назначению основных параметров, компоновочных и конструктивных решений водосбросных и подпорных сооружений, а также режиму пропуска паводков для МГЭС на равнинных российских реках.

Компоновка основных сооружений МГЭС

Все основные сооружения МГЭС располагаются в русле реки без выноса их на участки низкой поймы. Здание МГЭС, водосброс и устой береговых примыканий располагаются между крутыми берегами русла реки. Грунтовые сооружения на пойме представляют собой поднятые площадки ОРУ, бытовые помещения и потоконаправляющие дамбы, формирующие течение незатопляемых сооружений ГЭС при прохождении высоких паводков по пойме реки.

Напорный фронт МГЭС

Напорный фронт МГЭС располагается в пределах русла реки. Подпорными сооружениями являются водосброс, здание МГЭС, береговые устои и сопрягающие сооружения. Использование глухих подпорных сооружений значительной протяженности по сравнению с водосбросами и зданием МГЭС не рекомендуется. Развитие напорного фронта на пойму реки не допускается. Напорный фронт МГЭС является временным и должен иметь возможность быть ликвидированным на время пропуска расчетных и поверочных паводков, а также промыва водохранилища и ремонта. В этих случаях гидравлический перепад на сооружениях МГЭС (за исключением перепада, обусловленного гидравлическим сопротивлением обтекаемых паводковым потоком незатопляемых сооружений МГЭС) отсутствует, а сама МГЭС останавливается.

Режим пропуска паводков,

пропускная способность водосбросов, отметки НПУ и ФПУ.

Нормальный подпорный уровень воды в водохранилище (НПУ) для рассматриваемых МГЭС определяется в соответствии с ее водноэнергетическими расчетами при условии, что он не превышает отметок поймы реки в створе сооружений МГЭС и не допускает значительных затоплений поймы вверх по течению. Таким образом водохранилище в межпаводковый период располагается в пределах русла реки без затопления ее поймы.

Суммарная пропускная способность водосбросов и МГЭС должна обеспечивать пропуск меженных расходов, а также дождевых паводков (включая осеннее половодье) при поддержании отметок уровня воды в водохранилище ниже отметок поймы реки в створе МГЭС. Пропуск дождевых паводков осуществляется по руслу реки, выход потока на пойму в обход основных сооружений в этом случае не допускается.

При пропуске весенних паводков, включая расчетный и поверочный случаи, поток пропускается по руслу реки при полностью открытых водосбросах, а также по речной пойме в обход основных сооружений МГЭС. В последнем случае максимальный уровень воды перед створом МГЭС (условно называемый здесь ФПУ) определяется как сумма бытового уровня, соответствующего поверочному расходу, и гидравлического перепада, обусловленного обтеканием потом здания МГЭС и других глухих элементов основных сооружений.

Основные отметки сооружений МГЭС

Понятие отметки гребня подпорных сооружений для рассматриваемых МГЭС отсутствует. Основными не затопляемыми ("сухими") при пропуске паводков отметками являются отметки размещения электрооборудования здания МГЭС, распределительные устройства, опоры ЛЭП, а также электроприводы гидромеханического оборудования водосбросов и бытовые помещения. Все эти элементы МГЭС располагаются на отметках выше НПУ и, при необходимости, защищаются от подмыва потоконаправляющими сооружениями.

Конструктивные особенности водосбросного фронта МГЭС

В целях сокращения гидравлического перепада на сооружениях МГЭС при пропуске паводков (приближения режима пропуска паводка к природному), конструкция водосбросов, при полном их открытии, должна обеспечивать близость площадей живого сечения потока на водосбросе и живого сечения русла реки до возведения МГЭС. Это может быть достигнуто как использованием традиционных конструктивных схем, например плоских затворов и поворотных ферм установленных на горизонтальный флютбет или низкий порог, так и нетрадиционных водосбросных систем: плавких затворов HYDROPLUS или рукавных водосливных плотин-оболочек BRIGESTONE, или им подобных, также установленных на низком пороге.

Конструкция водосбросов должна обеспечивать их автоматическое регулирование, по крайней мере, при пропуске меженных расходов и дождевых паводков.

В целях сокращения стоимости водосбросов, применение ремонтного затворного оборудования не обязательно. Для проведения ремонта водосбросного фронта, гидротурбинного оборудования МГЭС и промыва водохранилища в составе сооружений МГЭС необходимо предусмотреть резервное (ремонтное) водосбросное отверстие с пониженной отметкой порога или донное, имеющее основное и ремонтное затворное оборудование, и позволяющее в межень опорожнить водохранилище ниже отметки порога основных водосбросов до отметок, близких к бытовым. (Это отверстие может быть размещено, например, в строительном отводящем канале).

В целях увеличения продуктивности пойменных лугов в засушливые годы в конструкции водосбросов желательно предусмотреть возможность кратковременного подъема в

межень отметки в верхнем бьефе выше НПУ для подтопления пойменных лугов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карелин В.Я., Волшаник В.В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций. М.: Энергоатомиздат. 1986.
2. СНиП 2.06.01-86. Основные положения проектирования гидротехнических сооружений. М.: 1987.
3. Февралев А.В., Соболев С.В. Перспективы малой гидроэнергетики в Нижегородской области. //Электрические станции. 1996. 5.
4. Временные рекомендации по проектированию малых гидроэлектростанций. П-859-87. М.: Гидропроект. 1988.

ПЕРЕХОДНЫЕ РЕЖИМЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ ГЭС АЛЬ ВАХДА (МАРОККО)

*Золотов А.Л., инженер (АО «Институт Гидропроект»),
Клабуков В.М., инженер (АО НИИЭС)*

В общем комплексе проблем обеспечения безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений особое значение имеет безаварийная работа напорных энергетических водоводов и гидросилового оборудования. Перед вводом энергетического объекта в промышленную эксплуатацию в перечень обязательных специальных испытаний включаются испытания по оценке максимальных значений давления в напорных водоводах и турбинных камерах и частоты вращения агрегатов, регламентируемых на поставку гидросилового оборудования в форме гарантий регулирования. Такие испытания проводятся при имитации аварийных режимов, возникающих при отключениях от сети части агрегатов или гидроэлектростанции в целом.

Причинами отключения агрегатов от сети могут стать либо неисправность оборудования, либо развал энергетической системы. Неполадки оборудования преобладают в период временной эксплуатации, т.е. в период доводки и отладки оборудования и систем аварийных защит, а также после исчерпания ресурса эксплуатации оборудования. Развал энергетической системы достаточно редкая, но вероятная ситуация.

Переходные процессы в напорных водоводах и агрегатах ГЭС и ГАЭС сопровождаются существенным отклонением ре-

жимов от условий нормальной работы и являются определяющими при назначении расчетных нагрузок на оболочки напорных водоводов и гидросиловое оборудование. Испытания напорных водоводов и гидросилового оборудования производятся при аварийных режимах (сбросы нагрузок) для наиболее неблагоприятных условий. К таким условиям относятся расчетный и максимальный напоры гидроэлектростанции и число одновременно отключаемых от сети агрегатов.

При расчетном напоре определяется допустимость нагрузок на узлы крепления полюсов к ступице ротора генератора при допуске значении повышения частоты вращения агрегата. При максимальном напоре определяется максимальное значение давления в напорном водоводе и спиральной камере гидротурбины.

Вероятное число одновременно отключаемых от сети агрегатов определяется с учетом схемы напорных водоводов и основных электрических соединений гидроэлектростанции (первичная коммутация), а также вероятных эксплуатационных ситуаций [1]. Случай одновременного отключения группы агрегатов, питаемых одним водоводом с разветвлением, может рассматриваться как маловероятный, и для него на стадии проектирования производятся поверочные расчеты. Однако по требованию Заказчика и такой случай может считаться основным расчетным.

Практически очень редко удастся провести испытания при указанных выше наиболее неблагоприятных условиях. В этом случае Международными правилами [2] допускается проведение испытаний для условий, когда:

$0,9 E_{sp} < E < 1,1 E_{sp}$ или $0,9 H_{sp} < H < 1,1 H_{sp}$ (для прогнозирования изменения давления в спиральной камере на расчетные условия);

$0,9 H_{sp} < H < 1,1 H_{sp}$ и $0,9 P_{sp} < P < 1,1 P_{sp}$ (для прогнозирования изменения частоты вращения агрегата на расчетные условия), где

E_{sp} и H_{sp} - удельная энергия и напор для расчетных условий;

E и H - удельная энергия и напор для условий на момент проведения испытаний;

P_{sp} - давление над уровнем нижнего бьефа для расчетных условий;

P - давление над уровнем нижнего бьефа на момент проведения испытаний.

В этом случае изменение давления для расчетного случая определяется по формуле:

$$\Delta P_{sp} = \frac{\Delta P}{K_H^{0.5}}, \quad (1)$$

где $K_H = \frac{H}{H_{sp}}$, ΔP - измеренное при испытаниях изменение давления.

Изменение частоты вращения агрегата вычисляется по выражению:

$$\Delta n_{sp} = \Delta n \frac{K_H^{3/2}}{K_p^2} \quad (2)$$

где $K_p = \frac{P}{P_{sp}}$, $P = P_0 + \Delta P$ - определенное по результатам испытаний значение давления.

Формулы (1) и (2) могут быть использованы только в случае, если при испытаниях производился сброс номинальной нагрузки на одном или на всех агрегатах, питающихся от одного водовода.

В тех случаях, когда при испытаниях производится сброс номинальной нагрузки с нескольких агрегатов из группы, питаемой одним водоводом (например, с двух от группы из трех агрегатов), то максимальное значение повышения давления в спиральной камере для сброса нагрузки одновременно с трех агрегатов может быть определено по выражению:

$$\Delta H = \frac{T_w}{2T_s} \left(\frac{T_w}{T_s} + \sqrt{\left(\frac{T_w}{T_s} \right)^2 + 4} \right) H_0 \quad (3)$$

где T_w - постоянная времени водовода при расчетных условиях, вычисленная с учетом значения турбинного расхода по данным испытаний; T_s - время закрытия направляющего аппарата по линейному закону по данным испытаний; H_0 - напор, м, для расчетных условий.

Уравнение (3) обеспечивает надежные результаты, если число фаз гидравлического удара более четырех, что обеспечивается практически на всех гидроэнергетических установках [1].

Для прогнозирования значения повышения частоты вращения агрегата при переходе на расчетные параметры применимы условия сохранения режима или подобия:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2, \quad (4)$$

где M_1 , H_1 и n_1 — значения соответственно крутящего момента, напора и частоты вращения агрегата для расчетного случая; M_2 , H_2 и n_2 — те же значения, соответствующие условиям проведения испытаний.

Из соотношения (4) имеем:

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}; \quad \frac{n_0 + \Delta n_1}{n_0 + \Delta n_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}; \quad \frac{1 + \varphi_1}{1 + \varphi_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}},$$

где n_0 — номинальная частота вращения агрегата, и далее:

$$\varphi_1 = (1 + \varphi_2) \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} - 1$$

Представим величины H_1 и H_2 в виде:

$$H_1 = H_{01} + K\Delta H_1 \quad \text{и} \quad H_2 = H_{02} + K\Delta H_2,$$

где H_{01} и ΔH_1 — напор и его повышение для расчетных условий (ΔH_1 определяется по выражению (3)); H_{02} и ΔH_2 — те же величины для условий испытаний; K — коэффициент неравномерности эпюры гидравлического удара [1] ($K=0,75+0,85$).

Окончательно получим:

$$\varphi_1 = (1 + \varphi_2) \sqrt{\frac{H_{01} + K\Delta H_1}{H_{02} + K\Delta H_2}} - 1, \quad (5)$$

где φ_1 — прогнозируемое относительное значение повышения частоты вращения агрегата; φ_2 — относительное значение, полученное при испытаниях.

В качестве практического примера рассмотрим некоторые результаты испытаний напорных водоводов и агрегатов ГЭС Аль Вахда, проведенные в июне 1998г., и прогнозируемые значения для оценки выполнения гарантий регулирования.

Гидроузел Аль Вахда построен на р.Уэрга в Марокко и включает грунтовую плотину длиной по гребню 2750м, максимальной высотой 88м, образующую водохранилище объемом 3,8км³, и правобережную приплотинную гидроэлектростанцию с водозаборной башней, напорным подводющим водоводом диаметром 10,8м с развилкой-тройником, тремя напорными турбинными водоводами диаметром 5,7м, подводящими воду к зданию ГЭС с тремя агрегатами суммарной мощностью 282МВА (рисунок на цветной вкладке).

Гидроэлектростанция Аль Вахда работает в режиме, обеспечивающем немедленное включение ее в периоды пикового повышения потребляемой мощности, и должна моментально подключаться к сети Национального управления электрификации Марокко для подачи в нее активной мощности.

На гидростанции установлены три вертикальных гидроагрегата со следующими техническими характеристиками:

гидротурбина:

тип	радиально-осевая (PO 115/810-B-425);
расход воды,	150м ³ /с;
номинальный напор	61,80м;
номинальная частота вращения	142,8об/мин;
номинальная мощность	82,6МВт;
диаметр рабочего колеса	4,25м;

гидрогенератор:

тип	СВ 900/155-42;
полная мощность	94МВА;
напряжение статора	10,5кВ;
частота	50Гц;
частота вращения	142,8об/мин.

Гидротурбины ГЭС Аль Вахда изготовлены в России на предприятии АО «Ленинградский металлический завод» (ЛМЗ), а гидрогенераторы - на предприятии ОАО «Уралэлектротражмаш» (УЭТМ).

Водозаборное устройство выполнено в виде башни с четырьмя водозаборными отверстиями, защищенными сороудерживающими решетками. Суммарная площадь водозаборных отверстий составляет 384м² (4х6х16м), что обеспечивает пропуск полного расхода 450м³/с при скорости потока 1,17м/с.

Напорный водоподводящий туннель общей длиной 376м начинается участком длиной 15м, который представляет собой переход от прямоугольного сечения водозаборного отверстия пре-

дохранительного гидротехнического затвора к круглому сечению водопроводящего туннеля, имеющего диаметр 10,8 м.

В хвостовой части по течению потока водопроводящего туннеля происходит его разветвление на три напорных турбинных водовода. Разветвление потока осуществляется при помощи распределительного устройства, представляющего собой массивную сталежелезобетонную конструкцию общей протяженностью 78,8 м. Далее по трем турбинным водоводам диаметром 5,7 м вода поступает на три гидроагрегата ГЭС. Каждый из турбинных водоводов имеет длину 60 м, считая от распределительного устройства до предтурбинного затвора (рис.1).

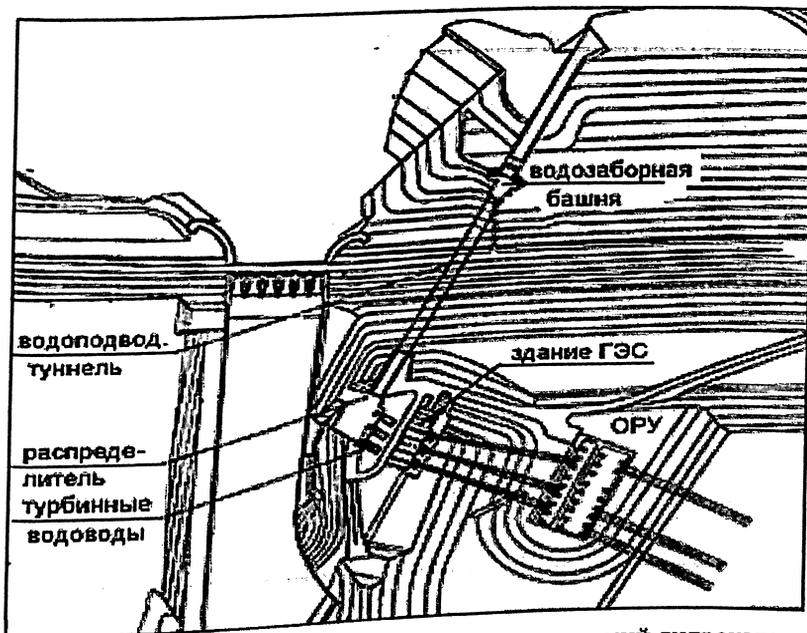


Рис.1. Схема расположения основных сооружений гидроузла Аль Вахда.

Гарантийные испытания гидроагрегатов проводились в соответствии с условиями контракта на поставку гидроэнергетического оборудования ГЭС Аль Вахда и включали в себя испытание гидротурбины, а также проверку гарантийного регулирования при сбросах нагрузки.

По согласованию с Заказчиком было принято: произвести сброс номинальной нагрузки одновременно только с двух агрегатов;

для случая сброса номинальной нагрузки одновременно с трех агрегатов (случай полного отключения гидроэлектростанции от сети) произвести прогнозирование расчетами.

С целью обеспечения более точного прогнозирования параметров переходных процессов при сбросах одновременно с трех агрегатов при расчетном ($H_p=61,8\text{м}$) и максимальном ($H_{\text{макс}}=72,3\text{м}$) напорах выполнены полные расчеты современными методами [1]. Приведенные выше формулы применялись для предварительного анализа выполнения гарантий регулирования.

При аналитических расчетах переходных процессов использовались и учитывались следующие опытные данные:

- начальные условия перед сбросами нагрузки;
- расходная и моментная характеристики, полученные при энергетических испытаниях агрегата А2 для напора нетто $H=68\text{м}$;
- действительный закон закрытия направляющего аппарата;
- действительное значение фазы гидравлического удара $2\theta=1,25\text{с}$ при скорости его распространения $C=917\text{м/с}$;
- действительное значение времени запаздывания регулятора ($0,2+0,25\text{с}$).

Сброс номинальных нагрузок одновременно с двух агрегатов при напоре нетто $H=64,9\text{ м}$.

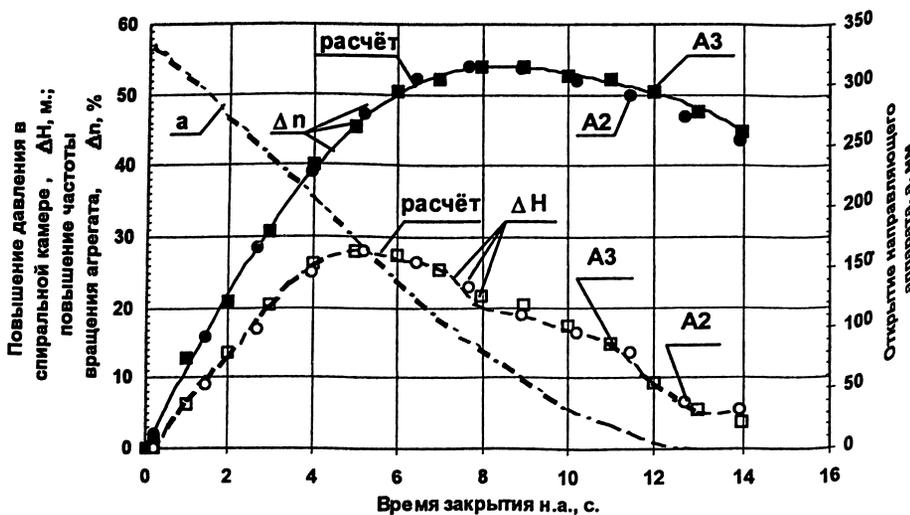
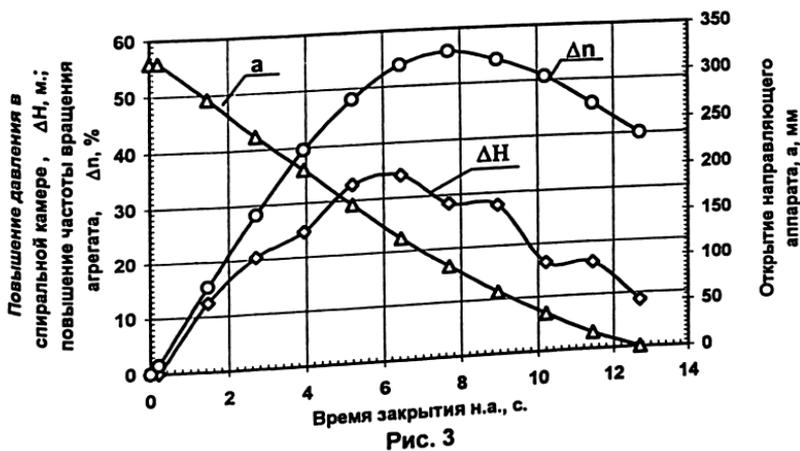
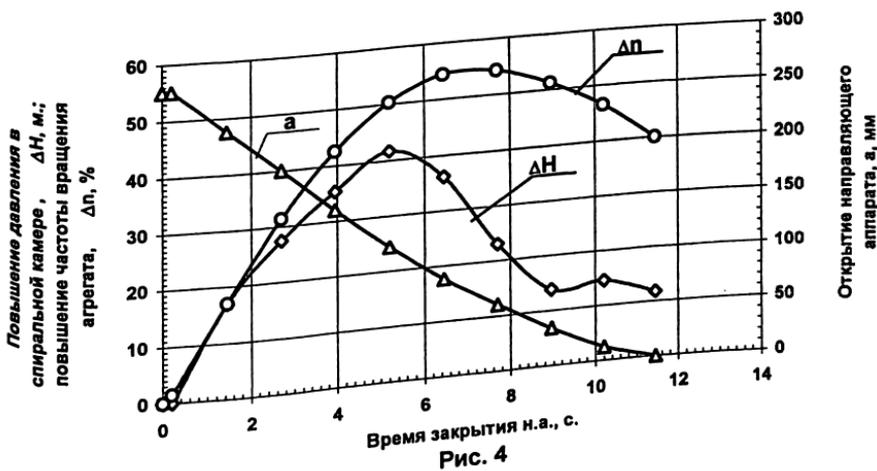


Рис. 2

Сброс номинальных нагрузок одновременно с трёх агрегатов при напоре нетто $H=61,8$ м (расчёт).



Сброс номинальных нагрузок с трёх агрегатов при максимальном напоре $H=72,3$ м (расчёт).



На рис.2 приведено сравнение опытных кривых изменения повышения частоты вращения агрегата Δn , %, и давления в спиральной камере ΔH , м, с расчетами для случая одновременного сброса номинальных нагрузок с двух агрегатов (А2 и А3).

В таблице 1 дается сравнение максимальных величин Δn , % и ΔH , м.

Таблица 1

Наименование	Номер агрегата	Δn , %	ΔH	
			м	МПа
Опыт	А2	54,0	28,3	0,283
	А3	54,0	28,0	0,280
Расчет	А2 и А3	54,0	28,0	0,280

Хорошее совпадение опытных значений с расчетными для случая сброса номинальных нагрузок одновременно с двух агрегатов позволяет применить эту методику расчетов для прогнозирования параметров переходных процессов для условий одновременного сброса номинальных нагрузок с трех агрегатов (полное отключение гидроэлектростанции от сети).

На рис.3 и 4 приведены результаты расчетов переходных процессов для условий одновременного сброса нагрузок с трех агрегатов при напорах $H=61,8$ м (расчетный напор) и $H=72,3$ м (максимальный напор).

Таблица 2

Наименование	Напор нетто H , м	Повышение частоты вращения агрегата Δn , %	Повышение давления в спиральной камере ΔH		Максимальное давление в спиральной камере относительно отметки 91,0м	
			м	МПа	м	МПа
Гарантии поставщика гидротурбин	61,8	59,0	-	-	-	-
	72,3	-	48,2	0,482	126,0	1,26
Прогноз по расчетам с учетом опытных данных	61,8	55,8	34,1	0,341	95,35	0,9535
	72,3	55,0	41,6	0,416	113,1	1,131
Расчет по формулам (3) и (5)	61,8	56,2	34,4	0,344	95,65	0,9565
	72,3	-	39,8	0,398	112,3	1,123

В таблице 2 приводится сравнение гарантируемых параметров переходных процессов с прогнозируемыми результатами.

Из сравнения данных, приведенных в таблице 2, следует, что гарантии регулирования выполнены и гидроэлектростанция может эксплуатироваться при любых сочетаниях нагрузок и напоров в соответствии с эксплуатационной характеристикой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидромеханические переходные процессы в гидроэнергетических установках. Под ред. Г.И. Кривченко. М.: Энергия. 1975.
2. Стандарт МЭК. МЭК 41. 1991.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

*Авдотьин В.П., кандидат техн. наук,
Самсонов К.П., доктор экон. наук (ВНИИ ГОЧС)*

С каждым годом в России и во всем мире растет число чрезвычайных ситуаций (ЧС), увеличиваются их масштабы и тяжесть последствий. Основное место занимают ЧС техногенного и природного происхождения, вызываемые авариями в производственных системах и воздействиями природных факторов, в том числе авариями на энергетических сооружениях. В условиях современной России во многих случаях возникновение ЧС имеет глубокие экономические корни. Все большую роль приобретают ЧС, возникающие вследствие социально-политических, национально-религиозных и военных конфликтов. Любая война с точки зрения ее воздействия на население страны, ее производственно-экономический потенциал, природную среду может рассматриваться как крупномасштабная ЧС.

Техногенная обстановка в стране ухудшается. Можно ожидать, что во многих случаях отдельные, даже небольшие по своим масштабам производственные аварии и стихийные бедствия будут сливаться в сплошную цепь, провоцируя и усиливая друг друга, вызывая системные эффекты, не поддающиеся локализации и имеющие далеко идущие прямые и косвенные последствия, в том числе и проявляющиеся на макроэкономическом уровне. Подобные ЧС в той или иной мере оказывают

влияние практически на все сферы существования человеческого общества и, прежде всего на систему общественного производства, на подсистемы обитания и жизнедеятельности людей, а также и на природную среду.

Ущерб от ЧС носит весьма разнообразный характер. Для его измерения используются различные показатели, которые применяются в химии, физике, биологии, а также производственно-технические и экономические показатели. В настоящее время все большее значение приобретают проблемы определения социально-политического и морального ущерба от ЧС. Важность и необходимость использования при определении ущерба от ЧС широкой гаммы разнообразных специфических показателей не вызывает сомнения. Экономические показатели и методы определения ущерба от ЧС должны играть ведущую роль и учитывать следующие особенности.

Во-первых, оценки последствий ЧС различного происхождения оказываются трудно сопоставимыми друг с другом. Они выполняются специалистами-экспертами разных специальностей, в каждой из которых применяется свой понятийный аппарат, система измерений и оценок. Поэтому возникают сложности при принятии решений по предотвращению возможных ЧС или компенсации их последствий. Следовательно, необходимо создание методов сопоставления различных ЧС с применением достаточно универсальных показателей и методов. Здесь возможна реализация самых разнообразных подходов, в том числе и не связанных с использованием экономических показателей: построение обобщенных показателей-агрегатов, шкалирование, разнообразные экспертные оценки и т.д. Такие подходы и методы имеют органические недостатки, связанные с тем, что при их практическом применении, как правило, не просматривается «кухня» сопоставления показателей друг с другом. Так, например, построение обобщенных оценок обычно основано на применении неформализованных процедур обработки суждений специалистов-экспертов, использовании их интуиции и т.д. Формализованное построение обобщенных показателей на базе частных показателей выдвигает задачу их комбинирования и агрегирования, что в свою очередь требует использования некоторых общих (универсальных) измерителей, наиболее распространенными из которых являются стоимостные (денежные). Применение экономических методов, основанных на денежных оценках, в значительной мере отражает современную прагматичную философию Запада, исполь-

зующую универсальный принцип: все продается и все покупается! Заметим, что ограничения на тотальное использование денежных оценок носят, прежде всего, морально-этический характер.

Во-вторых, любая задача оценки ущерба от ЧС, его прогнозирования, принятия решения по предотвращению ущерба или его компенсации часто связана с анализом потерь ресурсов и всегда с проблемой выделения ресурсов (денежных, материальных, людских и т.д.), то есть с решением некоторой экономической задачи. Иные постановки возможны, однако они не так интересны для органов государственного управления, занимающихся предотвращением, ликвидацией ЧС или компенсацией ущерба от их возникновения.

В-третьих, ЧС техногенного происхождения непременно в той или иной мере затрагивают экономику страны, ее производственную и социальную подсистемы, непосредственно нарушая функционирование не только отдельных ее элементов, но и затрудняя работу смежных звеньев, а в случае крупномасштабных ЧС - в течение длительного времени сказываясь на функционировании экономики всей страны.

Большинство ЧС происходит вследствие аварий и катастроф на отдельных производственных элементах экономической системы. Можно утверждать, что на сегодняшний день подобные ЧС представляют своеобразную форму функционирования самой экономической системы.

Следует обратить внимание, что в подавляющем большинстве случаев ЧС техногенного происхождения имеют экономические причины. Особенно это характерно для современной экономики России, когда производственное оборудование на большинстве предприятий практически полностью выработало свой ресурс, износ его превышает все допустимые нормы, хищнически используются еще оставшиеся производственные ресурсы, не соблюдается трудовая и технологическая дисциплина, в крупных масштабах нарушается техника безопасности. Поэтому оценка и прогнозирование ущерба от ЧС даже применительно к частным задачам требует рассмотрения всего комплекса вопросов: от возможных экономических причин возникновения ЧС до их экономических последствий.

Обычно полагают, что большинство ЧС природного происхождения не имеет непосредственных экономических причин, хотя все они влекут за собой тяжелые экономические последствия (например, землетрясения). Между тем в настоящее время

мя ряд ЧС природного происхождения вызывается идущими на Земле антропогенными процессами, определяемыми нарастающим влиянием производства на природную среду. Поэтому и в данном случае целесообразно просматривать цепочку: экономические процессы и их антропогенное воздействие на природу - возникающие вследствие этого ЧС природного происхождения - экономические последствия подобных ЧС.

Чрезвычайные ситуации, являющиеся результатом социально-политических, национально-религиозных, военных конфликтов, влекут за собой тяжелые экономические потери, связанные с разрушением производственного потенциала, уничтожением ресурсов, нанесением ущерба жизнедеятельности населения, негативным воздействием на природную среду. Во многих случаях предотвращение подобных ЧС требует анализа экономических причин их возникновения и всегда - прогнозирования экономического ущерба и оценки экономического обоснования мероприятий по подготовке к ним.

В четвертых, изолированное, локализованное рассмотрение любой ЧС малопродуктивно, в особенности для организаций и органов государственного управления, непосредственно или совместно с другими органами управления отвечающих за решение общесистемных вопросов функционирования экономики страны. Любое такое рассмотрение должно быть дополнено экономическим анализом. При этом каждая крупномасштабная ЧС должна рассматриваться, как органическая составляющая функционирования экономики страны и при проведении анализа и прогнозирования должна быть встроена в экономическую модель страны.

Экономика любой страны в любой исторический период обладает явно выраженными системными свойствами.

Экономическая система - это совокупность элементов и подсистем, сложно связанных друг с другом и функционирующих в соответствии с определенными закономерностями, часто целесообразно или целенаправленно. Целесообразность обычно проявляется стихийно и связана преимущественно с внутренними свойствами экономической системы (например, стремление к выживанию и росту благосостояния отдельных граждан, социальных групп, населения страны в целом). Целенаправленность в основном проявляется при реализации управления определенными экономическими процессами, например при реализации государственной социально-экономической политики и т.д. Хорошо известно, что роль

целенаправленного государственного управления резко повышается в критические периоды развития страны, в условиях крупномасштабных ЧС, в том числе во время войны.

Экономическая сущность явлений, происходящих при ЧС любого происхождения, состоит в том, что они ведут к деформации отдельных элементов экономической системы, к нарушению связей между ними, отражаются на достижении целей и соответствующих им целевых показателей. Важнейшими показателями экономической системы, независимо от условий ее функционирования, являются показатели уровня жизни населения, а в критических ситуациях - показатели его жизнеобеспечения. Любая ЧС прямо или косвенно отражается на показателях уровня жизни (жизнеобеспечения) населения, ведя к их снижению, поскольку связана с сокращением ресурсов экономики.

Можно выделить три главные направления расхода экономических ресурсов в связи с возможными ЧС:

1. Целенаправленное и заблаговременное использование ресурсов на проведение комплекса мероприятий по подготовке к возможным ЧС объектов экономики, социальной сферы, других объектов, представляющих общественную и природную ценность. Главная задача осуществления этих мероприятий - предотвратить возможность возникновения ЧС или уменьшить тяжесть их последствий.

2. Неуправляемое выбытие ресурсов вследствие разрушений, вызванных техногенными авариями или природными катастрофами.

3. Целенаправленное расходование ресурсов на ликвидацию последствий ЧС или компенсацию нанесенного ущерба.

Фактически рассмотренные выше задачи расхода экономических ресурсов относятся к трем различным временным периодам:

1 - до ЧС, 2 - во время ЧС, 3 - после ЧС.

Тем не менее, указанные задачи тесно взаимосвязаны. Так, планирование мероприятий по подготовке к возможным ЧС и соответствующее выделение ресурсов на их реализацию (задача 1) требует прогнозирования выбытия ресурсов в случае возможных ЧС (задача 2) и оценки затрат ресурсов на ликвидацию последствий ЧС или компенсацию нанесенного ущерба (задача 3).

В большинстве случаев в силу реальных экономических ограничений планирование выделения ресурсов на ликвидацию

последствий ЧС и компенсацию ущерба от них (задача 3) должно осуществляться параллельно с планированием выделения ресурсов на осуществление мероприятий по подготовке к возможным ЧС (задача 1).

Задачи выделения ресурсов и их распределения носят оптимизационный характер и требуют получения наилучшего, хотя бы рационального или разумного решения. Указанные проблемы должны рассматриваться как органическая часть обоснования потребностей МЧС в денежных и иных ресурсах, отражаемых, в частности, в соответствующих статьях государственного бюджета. Только на основе решения подобных задач можно дать ответ: «А какова цена вопроса?»

Среди экономических проблем анализа и прогнозирования последствий ЧС центральное место занимает задача определения фактического или прогнозируемого выбытия ресурсов в результате ЧС (задача 2).

Как известно, экономика представляет собой сложную многоуровневую иерархическую структуру. В ней принято выделять нижний - *микроэкономический* и верхний - *макроэкономический* уровни, а также промежуточные уровни (в том числе отраслевой и региональный, иногда называемые еще *мезоуровнями*).

На нижнем - микроэкономическом уровне преимущественно рассматриваются «экономические объекты», основными представителями которых являются отдельные предприятия промышленности, транспорта, строительства, сельского хозяйства, других отраслей и сфер деятельности. Именно на микроэкономическом уровне может быть достаточно детально и содержательно определен (спрогнозирован) физический, технический и иной ущерб от ЧС, включая разрушения зданий, сооружений, оборудования, уничтожение материальных ценностей, а также человеческие потери.

Казалось бы, не должен вызывать особых проблем переход от оценок ущерба в физических, технических и иных натуральных измерителях к экономическим (стоимостным) показателям. При достаточно стабильных ценах на ресурсы это сделать несложно. Фактически же эти требования не выполняются. Поэтому ущерб, нанесенный вследствие ЧС и определенный, например, через выбытие основных производственных фондов, измеренный с помощью стоимостных показателей, принятых при их бухгалтерском учете, недостаточен для экономической оценки последствий ЧС.

Содержательное и конструктивное решение проблемы определения экономического ущерба на микроэкономическом уровне состоит в определении сокращения производственных возможностей предприятий, в первую очередь выбытии их производственных мощностей. Все другие экономические показатели (выбытие основных фондов, сокращение объема производства, упущенная выгода, потребный объем восстановительных работ и т.д.) лишь дополняют указанный выше показатель выбытия производственных мощностей.

Указанные рассуждения относятся преимущественно к важнейшему типу экономических объектов - промышленным предприятиям. Для экономических объектов иных типов применим близкий подход. Так, для объектов магистрального железнодорожного транспорта (линейных участков, мостов, тоннелей и т.д.) основным показателем ущерба является уменьшение их пропускной способности (в определенной степени представляющей собой аналог производственной мощности промышленного предприятия). Для объектов социальной сферы основным экономическим показателем ущерба является сокращение возможностей по выполнению их профильной социальной функции (например, для объектов здравоохранения - сокращение возможностей по обслуживанию больных и т.д.).

Содержательная увязка физического, технического и прочего ущерба от ЧС наиболее результативна преимущественно на уровне реальных экономических объектов - предприятий и т.п. Тем не менее, в силу многочисленности и разнообразия экономических объектов на территории страны возникают проблемы обобщения сведений о них. В экономической практике принято агрегировать показатели прежде всего по отраслевому принципу. Практически эта задача сводится к суммированию однородных показателей экономических объектов, относимых в соответствии с действующими классификаторами к одной отрасли (подотрасли). Подобный подход позволяет достигнуть двух главных целей:

- 1) обеспечить обзорность имеющейся информации;
- 2) создать условия для проведения системного анализа функционирования экономики на основе использования соответствующих экономико-математических моделей.

Однако, любое обобщение, агрегирование данных ведет к определенной утрате информации (прежде всего сведений структурного характера), более того может способствовать получению ложных выводов. Для иллюстрации целесообразно при-

вести такой пример: в целом удовлетворительные агрегированные данные о возможностях производства электроэнергии, полученные на отраслевом уровне, могут скрывать факт катастрофического дефицита электроэнергии на отдельных территориях.

Тем не менее, проблема согласованного и непротиворечивого использования детализированной (микроэкономической) и агрегированной (например, отраслевой) информации представляется разрешимой. На современном этапе развития информационных систем нет принципиальных проблем для построения баз данных об экономических объектах страны, позволяющих работать с информацией разной степени детализации и агрегирования.

Группировка и агрегирование информации в региональном разрезе также является одним из важных направлений обобщения данных микроэкономического уровня.

Переход на верхний - макроэкономический уровень - это принципиальный шаг в направлении агрегирования экономической информации. Макроэкономический подход к анализу и прогнозированию последствий ЧС имеет следующие особенности:

1. Решается задача анализа и прогнозирования последствий ЧС на экономику страны в целом. При этом экономика страны рассматривается как система, а ЧС определяет специфические условия ее функционирования.

2. Макроэкономическими последствиями ЧС являются такие, когда масштаб ущерба от них достаточно велик, то есть отражается на расходной части федерального бюджета. Случаи, когда ущерб от ЧС отражается лишь на бюджете субъекта федерации, относятся к макроэкономическим последствиям ЧС регионального уровня.

3. Макроэкономические последствия ЧС измеряются как с помощью общепринятых интегральных показателей типа валового внутреннего продукта, конечного продукта и его основных составляющих, производственного и непроизводственного потребления и накопления, объемов производства по отраслям, так и с использованием частных показателей, таких как объемы душевого потребления, обеспечение продуктами питания и другими благами, важными для жизнеобеспечения населения.

4. Серьезный макроэкономический анализ и прогнозирование последствий ЧС невозможен только на основе простейших манипуляций с ограниченным числом интегральных показателей, дополняемых соображениями специалистов-экспертов.

Для получения достоверных и убедительных результатов, имеющих ценность для органов государственного управления, принимающих и реализующих на практике решения по предупреждению ЧС и ликвидации их последствий, необходимо создание эффективной системы расчетов и обоснований, базирующейся на достоверной информации.

Подобная система должна быть многоуровневой, опираться на первичную информацию о состоянии экономических объектов страны, органически включать в себя современные методы хранения и обработки данных, в том числе и систему расчетов с использованием экономико-математических моделей.

Независимо от конкретных особенностей реализации экономико-математической модели (ЭММ) она должна содержать следующие компоненты:

1. Элементы ЭММ.

При реализации модели на макроэкономическом уровне - это в первую очередь отрасли производственной и непроизводственной сферы, представленные в той или иной степени детализации (в соответствии с принятой в модели классификацией). Эти элементы характеризуются такими показателями, как объемы производства и потребления профильной продукции, производственные мощности, показатели удельного расхода ресурсов, необходимых для производства и т.д.

Кроме классификации по отраслям и видам производства модели могут иметь региональный разрез той или иной степени детальности, а также содержать информацию о таких специфических элементах ЭММ как транспортные системы.

Особое место среди элементов ЭММ занимают обобщенные данные о функционировании экономической системы в целом - макроэкономические показатели. ЭММ может содержать или строиться преимущественно на основе элементов микроэкономического уровня - данных об экономических объектах: о предприятиях и организациях производственной и непроизводственной сферы. И в этом случае первостепенное значение для построения ЭММ имеет установление определенной классификации (номенклатуры) включаемых в модель элементов.

2. Связи между элементами ЭММ.

Большинство элементов реальной экономической системы (и, соответственно, ее модельного отображения - ЭММ) в большей или меньшей степени взаимосвязаны друг с другом.

Основную роль играют так называемые технологические связи, характеризующиеся в первую очередь потоками материаль-

ных ресурсов между элементами ЭММ, например, типа: расход продукции одного элемента экономики на производство единицы продукции другого элемента. Еще один важный пример связи между элементами экономики - потоки материальных ресурсов по транспортным сетям (по магистральным линиям железнодорожного транспорта, по газопроводам и нефтепроводам, по линиям электропередач, по линиям автомобильного, речного, морского и авиационного транспорта и т.д.).

В настоящее время достаточно важную роль приобретает отображение денежных потоков между элементами экономической системы.

3. Приоритеты и целевые функции.

Установление приоритетов расходования ресурсов и моделирование целевой ориентации экономических процессов обычно вызывают значительные методические трудности. Однако подобная постановка вопроса является совершенно необходимой при моделировании функционирования экономики в условиях ЧС, поскольку обеспечение выживания и жизнедеятельности населения становится важнейшей целевой установкой органов государственного управления в этих условиях. Наряду с выполнением других общественно важных функций еще одной целевой задачей становится ликвидация последствий ЧС, а в более широкой постановке - восстановление экономики.

4. Отражение условий ЧС.

Влияние ЧС на экономику страны, независимо от условий их происхождения, при экономико-математическом моделировании проявляется по следующим основным направлениям:

а) прямое уничтожение экономических объектов (и, соответственно, элементов ЭММ), выбытие ресурсов. Применительно к производственным элементам речь идет, прежде всего, об уменьшении их производственных мощностей (в том числе полностью);

б) изменения условий функционирования экономических объектов в условиях ЧС. При экономико-математическом моделировании они проявляются, прежде всего, в изменении режима расходования ресурсов, в изменении направления их потоков, в том числе и по транспортным системам; отметим, что во многих случаях для экстремальных условий ЧС характерно экстенсивное, экономически неэффективное использование ресурсов;

в) приоритетов использования ограниченных ресурсов (о чем сказано выше); повышение целенаправленности деятель-

ности в отдельных сферах экономики связано с усилением дезорганизации и хаоса в других ее сферах.

В целом можно утверждать, что в условиях ЧС, особенно крупномасштабных, способных потрясти всю страну, роль государственного централизованного управления должна быть значительно усилена.

Кроме сказанного выше важно отметить еще следующие особенности функционирования экономики в условиях ЧС, которые следует учитывать при моделировании:

влияние ЧС, как правило, носит преимущественно экзогенный, внеэкономический характер; поэтому большинство исходных данных для учета влияния ЧС должно быть получено из других задач, например, из задачи анализа и прогнозирования физических последствий ЧС техногенного или природного происхождения;

при экономико-математическом моделировании влияние ЧС на экономику в большинстве случаев может считаться практически мгновенным (например, при рассмотрении многих техногенных аварий и природных катастроф); разумеется, возможно рассмотрение и задач с распределенным во времени влиянием ЧС (в случае учета последствий от ЧС);

особенностью функционирования экономики в условиях ЧС является резкое усиление роли восстановительных процессов, представляющих собой своеобразную форму воспроизводственной, инвестиционной деятельности; их главная задача - обеспечение преодоления узких мест и диспропорций, возникших в результате ЧС;

в условиях ЧС, особенно крупномасштабных, активизируются источники ресурсов, не используемые в обычных условиях, - запасы и резервы;

в условиях крупномасштабных ЧС могут появиться новые, совершенно несвойственные обычным условиям виды деятельности, которые следует учитывать при экономико-математическом моделировании: массовая эвакуация и размещение населения, перемещение культурных и материальных ценностей, демонтаж, перевозка и ввод в строй на новых площадках производственного и иного оборудования, выполнение таких специфических мероприятий, как, например, дезактивация, рекультивация значительных территорий и т.д.

С позиции формализации экономических процессов ЭММ, описывающие функционирование экономики страны в условиях ЧС, должны содержать:

балансовые соотношения (уравнения), накладываемые на располагаемые системой ресурсы и их потоки;

ограничения, накладываемые на производственные мощности, основные источники ресурсов, включая имеющиеся запасы и резервы;

целевые функции и связанные с ними другие соотношения нормативного характера, обеспечивающие получение содержательных результатов, исходя из принятых целевых установок.

Кроме этого в силу сложности моделируемого объекта ЭММ неминусом должны содержать уравнения и соотношения, обеспечивающие увязку информации разного иерархического уровня, агрегирование данных, неминусомые досчеты и т.д.

Подобные модели относятся к классу моделей математического программирования. В случае модельного описания функционирования экономики в форме линейных уравнений и ограничений проблема может быть сведена к классической задаче линейного программирования, дающей огромные возможности для нахождения практических решений путем организации вычислительного процесса с использованием современной программно-математической и технической базы. Кроме этого квалифицированное использование метода линейного программирования создает большие дополнительные возможности аналитического характера.

Одним из важных направлений использования системных экономических расчетов мог бы быть мониторинг экономической безопасности страны, в том числе и в связи с возможными крупномасштабными ЧС.

Кроме проблем экономического анализа и прогнозирования последствий ЧС можно еще указать на достаточно широкий круг прикладных задач, требующих развернутых системных исследований на основе проведения соответствующих макроэкономических расчетов с использованием ЭММ.

Конструктивное решение вопроса могло бы быть достигнуто путем создания Автоматизированной информационной системы анализа и прогнозирования последствий ЧС (далее АИС).

Исходя из специфических требований к экономическому анализу и прогнозированию последствий ЧС, эта система должна базироваться на следующих принципах:

1. Основными структурообразующими элементами («кирпичиками») АИС являются экономические объекты, под которыми в первую очередь понимаются:

территориально обособленные предприятия сферы материального производства, выпускающие определенную продукцию, использующие и потребляющие определенные материальные, трудовые и иные ресурсы;

территориально обособленные подразделения предприятий сферы материального производства, выпускающие определенную продукцию или непосредственно участвующие в производстве в качестве элементов технологического процесса;

территориально обособленные предприятия, организации и объекты инфраструктуры сферы материального производства, необходимой для обеспечения процесса производства услугами транспорта, связи и т.д.;

территориально обособленные организации и объекты непроизводственной инфраструктуры, связанные с обеспечением жизнедеятельности населения и функционирования экономической системы страны и территорий.

В число экономических объектов производственной и непроизводственной инфраструктуры должны входить и такие специфические объекты, как мосты, тоннели, узлы связи и т.д., выступающие в роли ограничителей экономических процессов.

Дальнейшее развитие АИС предполагает включение в ее состав объектов, не относящихся непосредственно к сфере экологии, однако выполняющих важные общественные и социальные функции, являясь при этом непосредственным потребителем экономических ресурсов (научные, природные, исторические, культурные и иные территориально обособленные объекты).

Может быть выделена еще одна специфическая группа объектов - органы управления экономикой и другими сферами общественной жизни.

Подобная спецификация экономических объектов связана с тем, что эти объекты, с одной стороны, являются элементами экономических процессов, а, с другой стороны, рассматриваются как конкретные физические, технические и иные объекты, на которых происходят ЧС. Отсюда и требование территориальной обособленности объектов, более того - их географической привязки к определенным территориям и местностям.

Подобная классификация расходится с используемой в органах государственной статистики трактовкой объектов экономики, понимаемых преимущественно как предприятия или организации, выступающие в форме юридических лиц.

2. Для каждого экономического объекта должно быть обеспечено формализованное представление основного массива характеризующих его данных.

АИС должна позволять актуализировать информацию об экономических объектах.

Совокупность данных о каждом экономическом объекте должна строиться по схеме «вход-выход». Таким образом, каждый экономический объект (предприятие) формально выступает в качестве «преобразователя» ресурсов, используя в качестве «встроенных ограничителей» свои производственные мощности с учетом ущерба, нанесенного ему вследствие ЧС.

Аналогичные подходы должны применяться для экономических объектов других типов. Так, социальные экономические объекты являются лишь потребителями ресурсов. Объекты транспорта выступают не только как средство перемещения ресурсов в пространстве, но и как ограничители транспортных потоков.

3. Органической составляющей АИС должны быть соответствующие классификаторы, обеспечивающие формализацию и упорядочение информации об элементах системы:

- классификатор экономических объектов;
- классификатор отраслей;
- классификатор регионов;
- классификатор выпускаемой продукции;
- классификатор потребляемых ресурсов;
- классификатор ЧС и т.д.

Указанные классификаторы должны представлять собой официально действующие классификаторы, однако модифицированные для конкретных целей и условий их использования в АИС. Классификаторы экономических объектов должны создавать основу для включения объектов в состав АИС.

Представляется целесообразным еще при построении классификаторов, то есть на качественном уровне представления информации об элементах АИС, осуществить экспертное ранжирование этих элементов по степени важности применительно к решаемым задачам экономического анализа и прогнозирования последствий ЧС.

4. Наряду с классификаторами АИС должна содержать относительно самостоятельные функциональные системные блоки. В первую очередь, это:

- блоки информации о транспортных системах страны;
- блоки сценариев развития ЧС;

блоки графического и географического отображения информации и т.д.

Развитие АИС предполагает последовательное системное выделение блоков, сосредотачивающих информацию о важнейших отраслевых комплексах, включающих комплексы материального производства и инфраструктуры жизнеобеспечения населения.

В АИС должна быть соответствующим образом организована разнообразная дополнительная информация, привлекаемая применительно к отдельным конкретно поставленным задачам анализа и прогнозирования. В настоящее время имеются огромные массивы совершенно неупорядоченной информации, представляющей несомненный интерес для решения задач экономического анализа и прогнозирования последствий ЧС, однако совершенно не приспособленной для ее практического использования.

5. Создание АИС и ее дальнейшее функционирование предполагает непрерывную реализацию следующих трех функций.

1-я функция - накопление и «складирование» данных об экономических объектах и другой информации, необходимой для решения задач экономического анализа и прогнозирования последствий ЧС. Реализация этой функции требует:

создание соответствующего программно-математического обеспечения и задействование необходимой технической базы, позволяющих фактически начать накапливать необходимую информацию и централизованно размещать ее в соответствующей базе данных, то есть речь идет о создании своеобразного «склада данных»;

решение организационных, программно-математических и технических задач формирования реальных потоков информации по заполнению этого «склада данных»;

формирование требований к «поставщикам данных», включая требования по содержанию, показателям формам представляемой информации, ее форматам, используемым программно-математическим средствам, регулярности представления и обновления информации и т.д.

Реализовать 1-ю функцию в части создания «склада данных» в настоящее время целесообразно на основе достаточно мощных ПЭВМ массового применения с использованием программно-математических средств, например, Microsoft Access для Windows 95 (или более поздних версий).

2-я функция - первичная обработка и представление информации в структурированной, компактной и наглядной форме. При этом решаются относительно простые задачи, состоящие в представлении практически необозримых массивов данных в форме, пригодной для их анализа специалистами-экспертами и для вынесения ими предварительных суждений, используемых в дальнейшем для принятия решений по проблемам ЧС или для последующих обобщений. При этом решаются простейшие экономико-математические задачи группирования, агрегирования и фильтрации данных, их первичной математической обработки, представления в виде выразительных форм, таблиц, графиков и т.д.

Грамотно разработанная версия АИС с использованием программно-математических средств, например Microsoft Access для Windows 95, позволяет эффективно решать эти задачи. Здесь следует обратить внимание на важное свойство современных систем ведения баз данных и обработки информации - возможность достаточно быстро и просто осуществлять модификацию используемого программного продукта.

3-я функция - решение конкретно поставленных экономико-математических задач различной степени сложности и принятие на их основе решений по всему комплексу задач, связанных с экономическим анализом и прогнозированием последствий ЧС. Здесь можно выделить следующие основные направления:

а) разработка и реализация на базе АИС достаточно универсальной и многоцелевой экономико-математической модели (системы моделей) функционирования экономики в условиях ЧС;

б) разработка и реализация с использованием информационных и программно-математических возможностей АИС различных специализированных моделей, предназначенных для решения разнообразных частных задач, связанных с анализом и прогнозированием последствий ЧС и выработкой соответствующих практических решений.

Современные информационные технологии, в том числе основанные на указанных выше программно-математических средствах Microsoft Access для Windows, языке программирования Visual Basic, других программных продуктах, позволяют выполнить соответствующие разработки. Важно подчеркнуть, что проблема не столько в собственно разработке программно-математического обеспечения АИС, сколько в насыщении этой системы необходимой информацией и практической организации ее переработки. Для этого необходимо принятие соответствующих организационных решений по созданию АИС.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПО КРИТЕРИЯМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Каякин В.В., Мулина А.В., кандидаты геол.-минерал. наук,
(АО «Институт Гидропроект»), Дмитриева И.Л., канди-
дат хим. наук (АО НИИЭС)*

В настоящей публикации рассматривается методика оценки опасности и определения критериев безопасности техногенных воздействий на окружающую среду. При разработке этой методики к критериям выдвигались следующие требования: они должны отражать количественные оценки результатов воздействий; носить комплексный характер, т.е. отражать все виды воздействия рассматриваемого объекта на окружающую среду; иметь четкий физический смысл.

Методологические и методические предпосылки

Методические подходы к определению количественной комплексной оценки техногенных воздействий на окружающую среду базируются на разработках лаборатории Бателле (г. Колумбус, США). Методика Бателле успешно применялась в США, Канаде и некоторых других странах для оценки воздействия на окружающую среду проектов использования водных ресурсов, атомных электростанций, сооружений автомагистралей и т.д. [1].

Методологическое обоснование критериальных оценок так же, как и частных количественных показателей воздействия на отдельные компоненты окружающей среды, разработано в соответствии с закономерностями развития техно-природных процессов. Эти представления выражают одно из следствий синергетической теории И. Пригожина о процессах в локальных открытых нелинейных системах [2].

Закономерности изменения режимов развития природных и техно-природных процессов

В свете синергетических представлений любые изменения в окружающей среде в результате техногенных воздействий (трансформация ландшафтов, загрязнение воды, почвы, воздуха, сокращение численности популяции, накопление тяжелых металлов в биоте и т.д.) можно рассматривать как процессы, развитие которых обусловлено наличием или отсутствием рав-

новесных условий в локальной системе. В соответствии с этим происходит закономерное чередование режимов развития процессов от линейного устойчивого при равновесных условиях, до экстремального лавинообразного при резком обострении неравновесных условий.

В связи с этим скорость развития процессов, а также их характер на рассматриваемом отрезке времени - замедление, стабилизация, ускорение, интенсивное и все усиливающееся накопление дефектов в системе, могут служить показателями стабильности системы, то есть являться индикаторами различной опасности исследуемых процессов. Эти положения являются основой представлений об опасных режимах развития процессов и критериях их оценки.

В обобщенном виде эти представления отражены на рис.1 и в таблице 1.

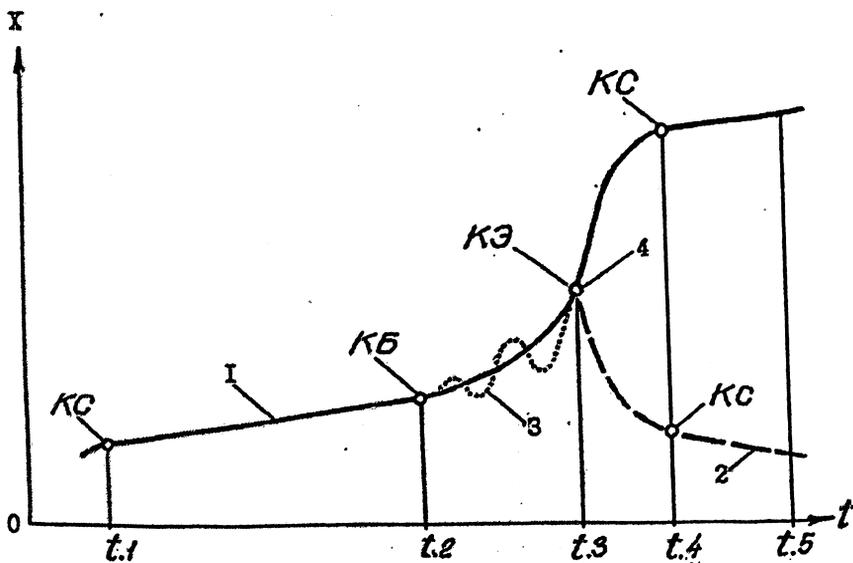


Рис.1. Режимы развития техно-природных процессов по показателю x во времени t в зависимости от наличия или отсутствия равновесных условий в локальной открытой нелинейной системе.

1 - график развития процесса $x = f(t)$; 2 - вариант развития; 3 - колебания развития процесса; 4 - точка бифуркации; КС, КБ, КЭ - критерии соответственно стабильности, безопасности и экстремальности развития процесса.

Таблица 1

Оценка опасности режимов развития природных и техно-
природных процессов.

Периоды времени (рис. 1)	Закономерности развития процессов	Опасность режимов развития процессов	Опознавательные признаки режимов развития процессов
1.1 - 1.2 1.4 - 1.5	Линейное устойчивое развитие процессов в равновесных условиях в системе	<i>Безопасное развитие процессов</i> , не требующее управляющих решений. Прогнозы достоверны и могут надежно учитываться при проектировании	Начало режима фиксируется критерием стабильности КС, окончание - критерием безопасности КБ. Характерна наибольшая продолжительность периода и небольшие изменения показателей
1.2 - 1.3	Нелинейное неустойчивое развитие процессов в неравновесных условиях в системе	<i>Опасное развитие процессов</i> , требующее управляющих решений для предотвращения ЧС. Прогнозы существенно осложняются наличием флуктуаций, появляется возможность возникновения ЧС	Начало режима фиксируется критерием безопасности КБ, окончание - критерием экстремальности КЭ. Продолжительность периода меньше, чем у устойчивого линейного режима, характерны заметные разнознаковые изменения показателей
1.3 - 1.4	Экстремальное лавинообразное развитие процессов в результате обострения неравновесных условий в системе	<i>Чрезвычайная ситуация</i> - крайне опасное ускоряющееся развитие процессов, требующее оперативных решений при дефиците времени и информации. Прогнозы весьма затруднены	Начало режима фиксируется критерием экстремальности КЭ. Характерна наименьшая продолжительность развития с резким увеличением показателей на несколько порядков. Экстремальному лавинообразному режиму всегда предшествует нелинейный неустойчивый режим развития процессов

В качестве конкретного примера ниже рассмотрены закономерности накопления ртути в рыбе после создания водохранилища. На рис.2 представлена кривая накопления ртути, построенная по данным наблюдений на водохранилищах США [3]. Накопление ртути в рыбе этих водохранилищ связано с выщелачиванием элемента из затопленных почв. Как видно из рис.2, в первые пять лет эксплуатации водохранилищ повышение содер-

жания ртути в рыбе носит линейный характер. В последующие два года эффект аккумуляции элемента приводит к нарастающему повышению его содержания в тканях в нелинейном режиме, с резким, лавинообразным скачком концентрации ртути на 8-ой год создания водоемов. Затем происходит стабилизация процесса, связанная с уменьшением поступления ртути из выщелоченных почв ложа.

Критерии безопасности развития процессов

В соответствии с изменением характера (режима) накопления ртути в рыбе, на кривой рис.2 определены критериальные значения концентраций элемента при различной степени опасности процесса. Критерий безопасности КБ отвечает верхней границе допустимого содержания ртути в рыбе, разделяющей линейный и нелинейный отрезки анализируемой кривой. Критерий экстремальности КЭ определяет граничные значения перехода от нелинейного, но еще достаточно медленного характера изменения содержания ртути в рыбе, к резкому лавинообразному его повышению. Критерий стабильности КС свидетельствует о постоянных линейных параметрах развития процесса накопления ртути и может, как это видно из рис.2, характеризовать процесс как при допустимых, так и опасных концентрациях элемента. В первом случае защитные мероприятия не требуются, во втором - они обязательны. Очевидно также, что проведение превентивных мероприятий по сокращению поступления ртути в биоту водоема наиболее эффективно до перехода процесса аккумуляции в экстремальный режим, то есть в период развития процесса между критериями безопасности КБ и экстремальности КЭ. При резком повышении содержания ртути в рыбе необходимо уже принятие чрезвычайных мер по охране здоровья населения, например, путем ограничения или запрета на ловлю рыбы.

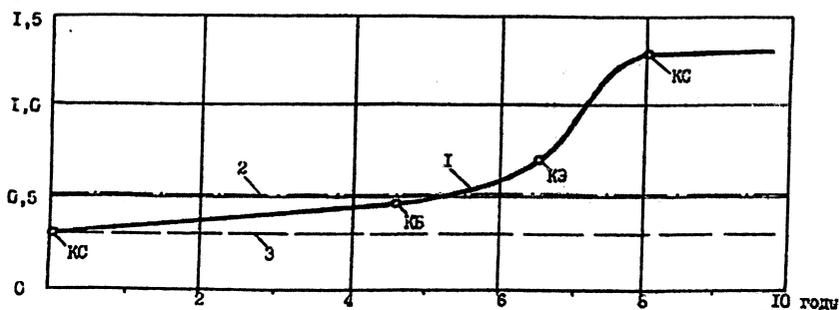
Другие возможности использования рассмотренных критериальных показателей для решения вопросов безопасности гидротехнических сооружений рассмотрены в работах [4] и [5].

Область применения критериев безопасности развития природных и техно-природных процессов

Критерии предназначены для оценки опасности природных и техно-природных процессов для гидротехнического объекта или отдельных его элементов в любой период жизненного цикла: при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, ликвидации. Методика позволяет оценить суще-

ствующее состояние окружающей среды, исследовать тенденции развития процессов в различных компонентах с учетом воздействия проектируемых сооружений и мероприятий и дать прогноз экологической безопасности на интересующий период времени. При этом могут рассматриваться варианты сохранения имеющихся условий и тенденций, их изменения под влиянием природных факторов или управляющей деятельности, призванной снизить или предотвратить те или иные негативные воздействия объекта на окружающую среду. В последнем случае методика позволяет получить объективные оценки эффективности управляющих решений и выбрать оптимальный вариант мероприятий.

Содержание ртути
в рыбе, мг/кг



<p>Линейный режим развития накопления ртути в рыбе при допустимой концентрации ртути. Опасность отсутствует.</p>	<p>Нелинейный режим процесса. В связи с появлением опасности необходимы технические организационные мероприятия</p>	<p>Лавинообразный режим развития процесса — ЧС. Необходимы чрезвычайные меры.</p>	<p>Линейный режим развития процесса при опасной концентрации ртути в рыбе. Требуются постоянные защитные мероприятия</p>
--	---	---	--

Рис.2. Оценка опасности процесса накопления ртути в рыбе (по водохранилищам США)

1 - кривая изменения содержания ртути в рыбе; 2 - предельно допустимая концентрация ртути в рыбе (ПДК); 3 - природный фон содержания ртути в рыбе; КС, КБ, КЭ - критерии соответствия стабильности, безопасности и экстремальности развития процесса

При экологическом обосновании проектов гидроэнергетических объектов разработанные комплексные количественные показатели экологической безопасности техногенных воздействий могут служить основой для сравнения альтернативных вариантов и выбора оптимального проектного решения с учетом как исходного состояния (качества) окружающей среды, так и прогнозируемых изменений при строительстве, эксплуатации и ликвидации объекта.

Рассматриваемая методика может быть адаптирована к другим видам промышленного строительства и хозяйственного освоения территорий, оказывающих многофакторное воздействие на окружающую среду.

Процедура оценки воздействия сооружений на окружающую среду

Методика задает последовательность процедур оценки состояния компонентов окружающей среды в бытовых условиях и под воздействием сооружений по рейтингу в баллах. Оценка состояния окружающей среды по всем ее компонентам и определение критериев экологической безопасности производятся по суммарному рейтингу, учитывающему результаты всех воздействий по всем компонентам. Для определения значения рейтинга разработаны таблицы и номограммы:

таблица сфер, компонентов окружающей среды и соответствующие им индикационные показатели их состояния (табл.2);

таблица рекомендуемых «удельных весов» компонентов окружающей среды (табл.3);

набор номограмм для определения состояния компонентов окружающей среды по рейтингу в баллах (рис.3-5);

номограмма оценки состояния окружающей среды и опасности воздействия гидроэнергетического объекта на окружающую среду по критериям экологической безопасности (рис.6).

Таблица 2 рекомендуемого состава компонентов окружающей среды и индикационных показателей разработана для гидротехнического строительства. Состав компонентов и их индикационных показателей может быть изменен или дополнен в зависимости от конкретных условий.

«Удельные веса» (табл.3) используются для сравнения и выявления компонентов окружающей среды, лимитирующих состояние различных объектов.

Таблица 2

Рекомендуемый состав компонентов окружающей среды и их индикационных показателей для оценки состояния окружающей среды и определения опасности воздействия гидроэнергетических объектов

Сферы окружающей среды	Компонент (процесс)	Индикационный показатель состояния компонента (развития процесса)
1	2	3
<i>Биосфера. Растительность и животный мир.</i>		
Водная и околородная экосистемы.	Рыба. Водоплавающие птицы. Водные и околородные животные. Водная и земноводная растительность. Ценные, редкие и исчезающие виды.	Число видов. Численность. Продуктивность
Наземная экосистема.	Ландшафты. Сельскохозяйственные угодья. Позвоночные. Птицы. Ценные, редкие и исчезающие виды.	Площадь распространения деградации. Продуктивность. Число видов. Численность. Ареал.
<i>Физико-химическая сфера.</i>		
Воздушная среда.	Воздух, осадки	Содержание пыли. Содержание вредных веществ в воздухе, пылевых выпадениях.
Водная среда.	Поверхностные воды.	Водородный показатель. Содержание растворенного кислорода. Содержание приорететных загрязняющих веществ. Наличие возбудителей заболеваний.
Почвы.	Почвы.	Содержание приорететных загрязняющих веществ. Наличие возбудителей заболеваний.
Биота.	Рыба.	Содержание тяжелых металлов и специфических загрязняющих веществ.

Продолжение таблицы 2

1	2	3
<i>Сфера геодинамических процессов</i>		
	Подтопление. Переработка берегов водохранилища. Размыв и сопутствующие явления в нижнем бьефе. Оползни, обвалы и другие склоновые явления. Оврагообразование. Наведенная сейсмичность.	Линейные и площадные параметры развития процессов. Параметры явления
<i>Социальная сфера</i>		
	Заболееваемость. Занятость. Социальные взаимосвязи. Уровень доходов и потребления. Этнические отношения. Культурный аспект. Религиозный аспект. Образование. Досуг.	Качественные и количественные характеристики изменения ситуации в рассматриваемых временных рамках.
<i>Хозяйственная сфера.</i>		
	Промышленность. Сельское хозяйство. Жилищное строительство. Инфраструктура. Энергоснабжение. Водоснабжение.	Физические или экономические показатели развития.

Таблица 3

Рекомендуемые «удельные веса» компонентов сфер окружающей среды

Сфера	«Удельный вес»
Биосфера	4
Физико-химическая сфера	5
Сфера геодинамических процессов	1
Социальная сфера	2
Хозяйственная сфера	3

Компоненты и их индикационные показатели, как видно из таблицы 2, группируются по сферам (биосфера, сферы проявления физико-химических и геодинамических процессов, социальная и хозяйственная сферы), как правило, по-разному влияющим на общую оценку состояния окружающей среды. Это разное влияние учитывается значением «удельного (относительного) веса» компонента каждой из сфер. В таблице 3

«удельные веса» даны для гидроэнергетического объекта с водохранилищем, когда наибольшее влияние на окружающую среду связано с изменениями состава и качества поверхностных вод и водной экосистемы, а также изменениями в наземной экосистеме в условиях значительных площадей затопляемых и затрагиваемых земель. Рейтинговые оценки состояния каждого компонента умножаются на соответствующий данной сфере «удельный вес», затем все полученные значения суммируются по сферам и для всей окружающей среды в зоне влияния объекта в целом.

Таким образом, с учетом особенностей конкретного гидроэнергетического или любого другого объекта с точки зрения его влияния на природные и социально-хозяйственные условия, пользователь может корректировать рекомендуемые в таблицах 2 и 3 состав компонентов, их «удельные веса» и индикационные показатели. Например, в условиях мало освоенных районов могут быть исключены из рассмотрения социальная и хозяйственная сферы, либо сокращено число компонентов этих сфер и им придан более низкий «удельный вес»; напротив, в районах интенсивного хозяйственного освоения и антропогенной нагрузки, при значительной доле в зоне воздействия объекта селитебных территорий, больший вес по сравнению с биосферой приобретают социальная и хозяйственная сферы; в населенных районах при повышенной активности геодинамических процессов (высокой сейсмичности, значительного развития обвально-оползневых явлений или наличия легкоразмываемых грунтов и т.д.), активизация которых может существенно влиять на жизнедеятельность и безопасность населения, относительный вес компонентов этой сферы должен быть повышен.

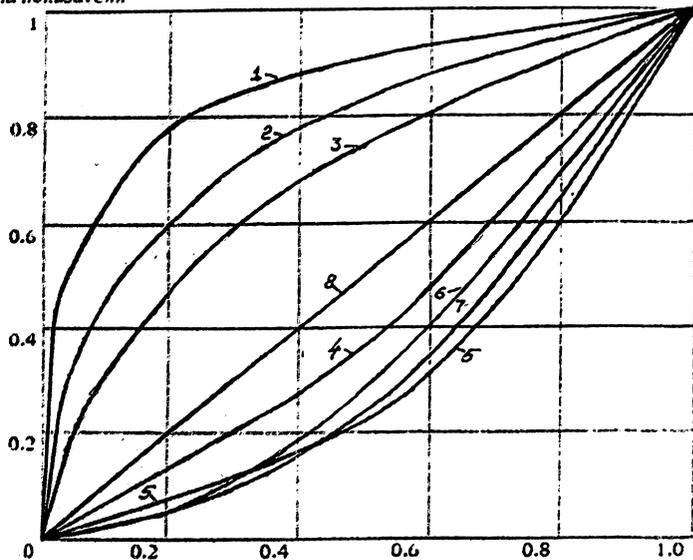
Очевидно, что в процессе работы из таблицы 2 должны быть исключены компоненты, отсутствующие в рассматриваемых конкретных условиях.

Примеры номограмм для определения состояния компонентов окружающей среды по рейтингу представлены на рис.3-5. Значение рейтинга для всех компонентов окружающей среды изменяется в пределах от 0 до 1. Единица либо характеризует природный фон, т.е. состояние среды, не затронутой антропогенными и техногенными воздействиями, либо соответствует оптимальным показателям хозяйственной и социальной сфер. Уменьшение значения рейтинга свидетельствует об ухудшении экологических условий под влиянием антропогенных и техногенных воздействий. Оценки индикационных показателей да-

ны в относительных величинах: пользователь должен фактические данные отнести к фоновым, либо оптимальным характеристикам компонентов окружающей среды.

При имеющихся классификационных и нормативных значениях качества окружающей среды по рассматриваемым индикационным показателям, они служат обоснованием построения кривых и определяют характер зависимости величины рейтинга от значений индикационных показателей. Примеры такого построения номограмм представлены на рис.3 для оценки состояния поверхностных вод и на рис.4 для оценки продуктивности биоты [6, 7, 8].

Относительная
величина показателя

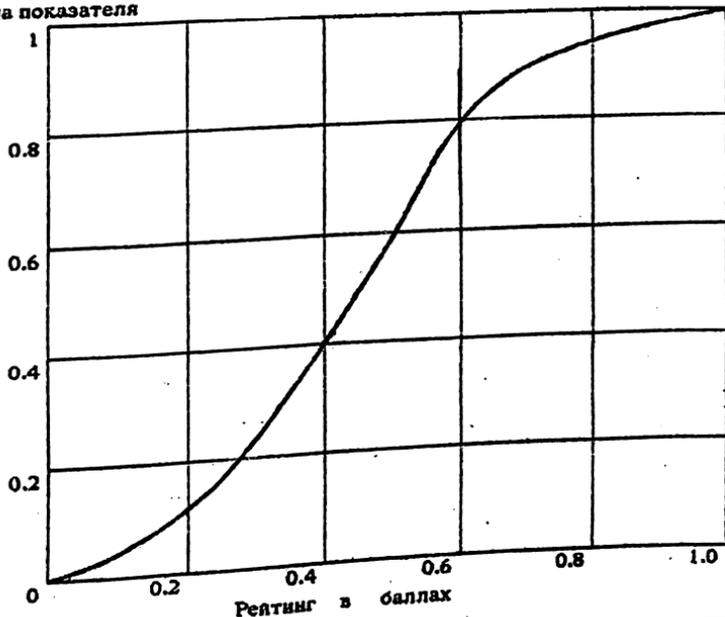


Пре- дельно гряз- ная	Гряз- ная	Загряз- ненная	Удовлетворительно чистая
--------------------------------	--------------	-------------------	--------------------------

Рис.3. Оценка состояния поверхностных вод по рейтингу, определяемому в зависимости от значений показателей гидрохимического состава, отнесенных к фоновым значениям:

1 и 2 - водородный показатель рН, соответственно для значений больше 7,2 и менее 7,2; 3 - содержание растворенного кислорода, мг/л; 4 - биохимическое потребление кислорода БПК₅, мг/л; 5 - содержание аммонийного азота, мг/л; 6 - содержание фосфора, мг/л; 7 - содержание взвешенных веществ, мг/л; 8 - цветность, град.

Относительная
величина показателя



Низкая про- дуктив ность	Средняя про- дуктив ность	Высокая про- дуктив ность
-----------------------------	------------------------------	------------------------------

Рис.4. Оценка состояния водной и наземной экосистем по рейтингу в зависимости от продуктивности биоты (по отношению фактических значений к продуктивности экосистем, не затронутых антропогенным воздействием).

При отсутствии установленных нормативных и классификационных параметров состояния окружающей среды по тем или иным компонентам зависимость значений рейтинга от характеристики индикационного показателя устанавливается экспертным путем. Примером такого подхода может служить номограмма рис.5. для оценки состояния таких компонентов наземной экосистемы, как ландшафты, животные, птицы, редкие и исчезающие виды растительности и животных.

Состояние каждого компонента окружающей среды оценивается по рейтингу с помощью номограмм с учетом «удельного веса» компонентов. По суммарной оценке состояния окружающей среды как в бытовых, так и в прогнозируемых условиях, можно определить опасность воздействия объекта на окружающую среду, пользуясь критериями экологической безо-

пасности. Для этой процедуры разработана номограмма, представленная на рис.6

Относительная
величина показателя

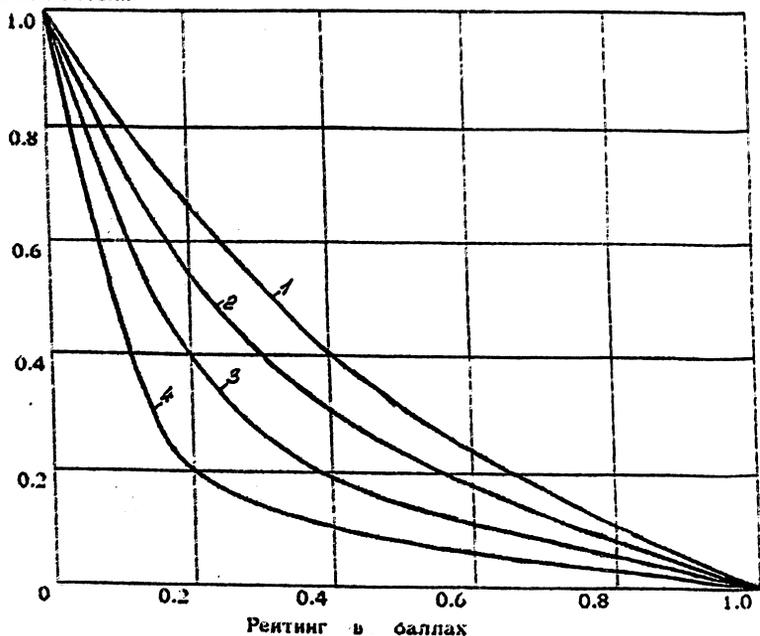


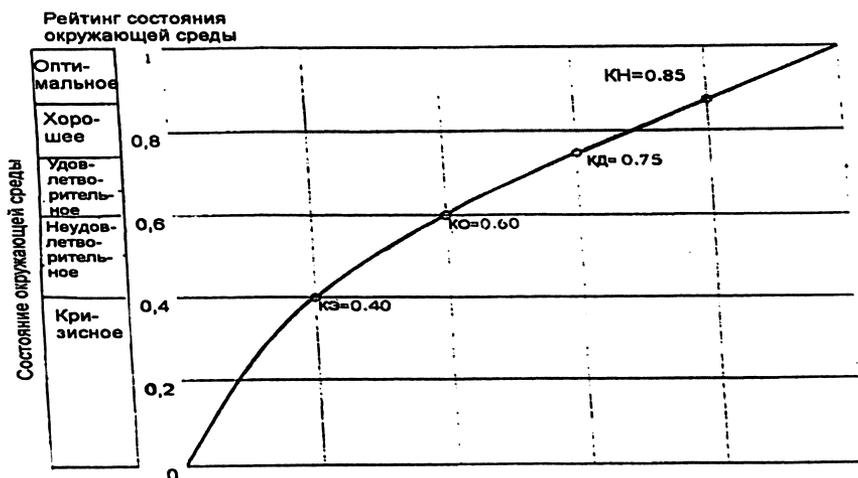
Рис.5. Оценка состояния наземной экосистемы по рейтингу в зависимости от значений показателей, отнесенных к таковым значениям для экосистем, не затронутых антропогенным воздействием:

1 - изменение ландшафтов; 2 - численность животных и птиц; 3 - видовой состав; 4 - распространение редких и исчезающих видов.

Критериальные оценки на номограмме получены как средневзвешенные значения по всем компонентам. Критериальные оценки на кривых соответствуют их перегибам, которые свидетельствуют об изменении закономерностей связи параметров (развития техно-природных процессов) в результате воздействия рассматриваемого объекта.

Критерий дестабилизации отвечает значению рейтинга 0,75 балла. Он соответствует граничным значениям индикационных показателей состояния среды при незначительных отклонениях от природного фона или оптимальных условий функционирования хозяйственно-социальной сферы. и о хорошем состоянии окружающей среды. При рейтинге 0,85 и выше состояние среды можно считать оптимальным. Это значение отвечает критерию

нормативного состояния окружающей среды. Оно принято по экспертной оценке с 15% отклонением от оптимума.



Ситуация	
(ЧС) Чрезвычайно опасная. Требуется чрезвычайные мероприятия.	Опасная. Требуется комплексные мероприятия для предотвращения опасности
Локально опасная. Требуется локальные мероприятия для предотвращения опасности	Безопасная. Мероприятия по предотвращению экологической опасности не требуются.

Рис.6. Оценка экологической опасности гидроэнергетических объектов по рейтингу воздействия на состояние окружающей среды: КЭ - критерий экстремальности, КО - критерий оптимальности, КД - критерий дестабилизации, КН - критерий нормального состояния.

Значения рейтинга ниже 0,75 балла говорят о нарастающем ухудшении состояния окружающей среды, рейтинг 0,60 принят как критерий опасности КО. Значения выше КО характеризуют состояние среды как удовлетворительное, техногенные воз-

действия опасны лишь для отдельных компонентов, - ниже КО негативные результаты воздействий фиксируются во многих компонентах, а состояние окружающей среды оценивается как неудовлетворительное. Рейтинг 0,40 отвечает критерию экстремальности КЭ, значения ниже КЭ свидетельствуют о кризисном состоянии окружающей среды, то есть о возникновении чрезвычайной ситуации в результате недопустимых воздействий объекта на окружающую среду.

Последовательность основных процедур оценки опасности воздействия гидроэнергетических сооружений на окружающую среду по критериям экологической безопасности представлена в виде блок-схемы на рис.7.

Отличительные особенности предлагаемой методики

Разработанная методика имеет следующие особенности:

не ограничивая число видов рассматриваемых компонентов окружающей среды, методика позволяет получить оценки состояния окружающей среды с желаемой детальностью и полнотой;

процедура оценки результатов воздействий на каждый компонент способствует выявлению опасных и экстремальных явлений, что позволяет целенаправленно планировать мониторинг и своевременно проводить защитные мероприятия;

применение методики дает возможность на единой основе комплексных количественных показателей вести сравнение и выбор вариантов проектных и управляющих решений по их экологической безопасности;

методика имеет достаточную надежность, благодаря высокой воспроизводимости результатов, малому влиянию субъективных факторов и доступности полученных результатов для проверки и корректировки;

положения методики отвечают современным представлениям об экологической безопасности антропогенного воздействия и принципам обеспечения безопасности гидроэнергетических объектов;

методика может быть адаптирована к любым конкретным объектам, воздействующим на окружающую среду.

методика имеет достаточную надежность, благодаря высокой воспроизводимости результатов, малому влиянию субъективных факторов и доступности полученных результатов для проверки и корректировки;

положения методики отвечают современным представлениям об экологической безопасности антропогенного воздействия и принципам обеспечения безопасности гидроэнергетических объектов;

методика может быть адаптирована к любым конкретным объектам, воздействующим на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вторжение в природную среду. Оценка воздействия. Основные положения и методы.** Под редакцией Р.Е.Муна. М.: Прогресс. 1983
2. **Пригожин И., Стенгерс И.** Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс. 1986
3. **Сухенко С.А.** Ртуть в водохранилищах: новый аспект антропогенного загрязнения биосферы. Новосибирск: СО РАН. 1995.
4. **Каякин В.В., Мулина А.В., Дмитриева И.Л.** Прогноз и предотвращение чрезвычайных ситуаций, связанных с техно-природными процессами. //Экология и промышленность России (ЭКИП). 1997.
5. **Kayakin V.V., Paraboutchev I.A.** Prediction and prevention of emergency situations associated with geological processes. // 8-th International AEG Congress. Vancouver. Canada. Balkema/Rotterdam. 1998.
6. **Справочник предельно допустимых концентраций вредных веществ в пищевых продуктах и среде обитания** М.:1993.
7. **Одум Ю.** Основы экологии. М.:Мир. 1975.
8. **Жизнеспособность популяций. Природоохранные аспекты.** М.:Мир. 1989.

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АКТИВИЗАЦИИ ОПОЛЗНЕЙ В СКАЛЬНЫХ МАССИВАХ НА УЧАСТКАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Горбушина В.К., кандидат техн. наук (АО «Институт Гидропроект»), Харьковина М.А., кандидат геолог.-минерал. наук (МГУ им. М.В.Ломоносова)

Одними из наиболее распространенных и опасных для гидроэнергетических сооружений природных процессов являются оползни, происходящие в скальных массивах. Активизация оползней на участках гидроэнергетических сооружений и в зонах водохранилищ наносит большой экономический, социальный и экологический ущерб. По имеющимся у авторов данным за последние 40 лет в мире произошли 123 крупные ава-

рии гидроэнергетических объектов, вызванные оползнями в скальных породах. Причем количественный уровень оползней при некотором уменьшении числа строящихся гидроузлов и увеличении их размеров остается примерно постоянным и составляет в среднем три аварии в год.

Объемы оползней, вызвавших значительные аварии на гидротехнических сооружениях, разнообразны и составляют от 1 тыс до 100 млн. м³ грунта и горных пород. Наиболее часто происходят оползни объемом порядка 1-10 млн. м³. Максимальный объем 1500 млн. м³ имеет древний оползень Доуни, обнаруженный на левом берегу водохранилища Ревельсток в Канаде.

Для гидротехнического строительства основными факторами образования оползней являются природные условия и техногенные воздействия. В природных условиях опасными факторами могут быть структура массива, рельеф, состав пород, экзогенные процессы, гидрогеологические, гидрометеорологические и сейсмотектонические условия. Техногенными факторами являются подрезка нижних частей и пригрузка верхних частей склона, изменение гидрогеологических условий под влиянием строительных работ и заполнения водохранилища, проявление техногенной разгрузки и выветривания, а также методы производства строительных работ, не ориентированные на сохранность пород, в частности применение взрывов большой мощности при вскрышных работах.

С экологических позиций последствия активизации оползней могут носить катастрофический или неблагоприятный для жизнедеятельности людей характер. Катастрофические последствия связаны с человеческими жертвами, а неблагоприятные - с ухудшением условий проживания населения, дискомфортом, но без угрозы для жизни.

Оценка последствий активизации оползней для экосистемы в целом и человека в частности осуществляется по комплексу критериев: медико-биологических, экономических, социальных, ботанических, почвенных, зоологических и геодинамических. Первые три критерия предпочтительно использовать для оценки воздействия оползней на урбанизированных территориях с высокой плотностью населения и материальных ценностей. К этим территориям относятся участки гидроэнергетического строительства.

Медико-биологические критерии оценки подразумевают число унесенных человеческих жизней. Гибель людей происходит при прямом и опосредованном воздействии оползней.

Прямое воздействие связано с обрушением горных пород на местонахождения человека. Так, в результате схода оползня на служебные помещения ГЭС Гуавьо (Колумбия) во время ее строительства в 1983г. погибли 140 человек [1].

Опосредованное катастрофическое воздействие оползней на человека связано с «каскадностью» проявления опасных природных процессов: когда землетрясения провоцируют сход оползней и обвалов, как правило, в чашу природных или рукотворных водохранилищ, а те, в свою очередь вызывают возникновение громадных волн, опасных для жизни человека. Например, в результате землетрясения 1786г. в Китае произошел сход оползней, перекрывших течение р.Даду. Естественная плотина через 10 дней разрушилась, и вытекающий поток распространился на 1400км вниз по течению реки, унеся жизни 100тыс. человек [2].

Человеческие жертвы наиболее значительны в случае высокой плотности населения по долине реки ниже створа плотины. Ярким тому примером является разрушение г.Лонгарон и гибель 3000 его жителей вследствие схода оползней в чашу водохранилища и перехлеста волны через гребень арочной плотины Вайонт в Италии [3].

Количество человеческих жертв можно уменьшить или избежать их полностью, если потенциально катастрофический сход оползней предсказан и приняты меры по предотвращению его пагубных последствий. В экологическом понимании катастрофы может и не быть, хотя социально-экономические последствия будут весьма ощутимы. Так, в июле 1987г. 80тыс. человек были эвакуированы из долины р.Адда ниже створа плотины Вальтеллина в Италии. Угроза для жизни населения возникла из-за схода оползня Валпола и обрушения 40млн.м³ скальных пород, перегородивших долину р.Адда в верхнем бьефе плотины. В результате образовалась естественная плотина высотой 33м, длиной 1,2км, и создано озеро объемом 20млн.м³. Сразу же были начаты исследования для оценки опасности перелива воды через гребень, размыва гребня и прорыва воды в густо заселенную долину р.Адда [4].

Экономические критерии оценки активизации оползней на участках гидроэнергетического строительства подразумевают материальный ущерб. Экономический ущерб может быть прямым и косвенным. Прямой экономический ущерб рассчитывается через «цену» унесенных жизней, стоимости содержания инвалидов и восстановительных работ. В моно-

графии С.М. Мягкова [5] приводится «цена» жизни, рассчитанная по методике Н.А. Алексеева. Для среднего жителя СССР на середину 80-х годов она составляла 350тыс. рублей, а средняя по миру - 120тыс. долларов США.

Непредвиденные оползни приводят к большим денежным потерям. В результате оползней правобережного примыкания открытого канала водослива строительство гидроузла Тренгану (Малайзия) было завершено на год позже ранее установленного срока, и стоимость выполнения строительных работ оказалась выше первоначальной на 30млн: долларов [6]. В процессе строительства плотины Клайд (Новая Зеландия) было обнаружено 10 оползневых участков. Непредусмотренные основным проектом плотины укрепительные работы вызвали удорожание строительных работ на 116млн. долларов и отсрочки их окончания почти на 2 года [7]. Оползни на берегах водохранилища Гранд Кули (США), произошедшие во время наполнения и в период эксплуатации ГЭС за период с 1934 по 1952гг., причинили ущерб на сумму 20млн. долларов [8].

Стоимость ликвидации аварий во многих случаях выливается в огромные суммы и часто приближается к стоимости строительства самого объекта. В 1987г. в Колумбии на р. Ареноза была построена ГЭС Калдерас деривационного типа с бетонной плотинной высотой 24м с расчетным напором 190м. В сентябре 1990г. произошел оползень, перекрывший русло р.Ареноза, в результате чего образовалась селевая лавина, которая накрыла ГЭС Калдерас и подстанцию 15 метровым слоем грязи и камней. Погибло 20 человек, серьезные повреждения получили 8 деревень, 8 мостов, 20км дорог и небольшой город Сан-Карлос. Стоимость потерь составила 20млн. долларов. Стоимость строительства ГЭС Калдерас 50млн. долларов, а стоимость ее ремонта после аварии, вызванной сходом оползня, - 15млн. долларов [9].

Косвенный экономический ущерб определяется стоимостью недополученной электроэнергии из-за остановки агрегатов на ГЭС, снижением качества продукции смежников, вынужденных останавливать производство или использовать другие источники энергоснабжения.

Остановка агрегатов и прекращение выработки электроэнергии из-за схода оползня отмечались в 1964г. на ГЭС Сэр-Адам-Бек-Ниагара в Канаде [10]. В 1982г. в Новой Зеландии два агрегата были разбиты и здание ГЭС Взао было полностью разрушено из-за схода оползней и последовавшего разрушения

деривационного канала на участке длиной 10м. В образовавшийся проран на здание ГЭС устремилась масса воды, увлекая за собой около 30тыс.м³ обломков горных пород [11].

Известны случаи погребения целых плотин в результате схода оползней, перегородивших реки. Большие убытки были понесены в Италии в 1960г. на р. Фальтерона, когда оползень, завалив русло горного потока, спустился вниз, и под толстым слоем камней и грязи оказались погребенными три плотины[12].

Косвенный материальный ущерб может быть также связан с нарушениями ирригации сельхозугодий и водоснабжения крупных городов, как это произошло в июле 1991г. в г.Будапеште из-за аварии на ГЭС Лерешти, первопричиной которой явился сошедший оползень объемом более 100тыс.м³ [13].

Социальные критерии оценки последствий активизации оползней связаны с социальным страхованием от опасных геологических процессов. Такое страхование давно существует в мире. В Новой Зеландии национальная программа страхования оказывает реальную помощь домовладельцам, жилища которых пострадали от оползней. Во Франции в 1982г. было введено обязательное страхование от стихийных бедствий и разработаны принципы, разделяющие ответственность сторон. Социальную ответственность в национальном масштабе за убытки, понесенные частными лицами, берет на себя Институт обязательного страхования от стихийных бедствий. Дополнительная ответственность определяется в специальных документах, имеющих отношение к опасным зонам, в которых ограничивается строительство. Эти документы регламентируют экономическую деятельность как с точки зрения предотвращения, так и защиты от возможной опасности [14].

Программы страхования могут компенсировать ущерб от оползней путем более широкого перераспределения бремени ущерба. Программа страхования, предусматривающая выполнение определенных норм и требований к выбору места строительства и архитектуре возводимых объектов, может предупредить возникновение крупного ущерба.

В России только сейчас разрабатывается информационная система социального страхования. Рассматривая оползни в качестве ущербобразующего процесса и учитывая «каскадный» характер взаимодействия опасных стихийных явлений, следует учесть, что уязвимость людей, зданий и сооружений, находящихся ниже створа плотины, значительно больше, чем в ее верхнем бьефе.

Представленные примеры убеждают в том, что потенциально оползневые склоны должны находиться на гидроэнергетических объектах под постоянным контролем. Контроль включает инженерно-геологическое и гидро-геологическое изучение, систематизацию и типизацию склонов, расчеты их устойчивости, проведение мониторинга с созданием постоянно действующей модели и ее периодическим уточнением по результатам мониторинга. Организация мониторинга, т.е. режимных наблюдений за состоянием и деформациями склоновых массивов в процессе строительства и эксплуатации сооружений, является важнейшим условием безопасности не только самих гидроэнергетических объектов и сохранности всего окружающего их техно-природного комплекса, но и жизни людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Tragic timing of Guavio fatal slide.**//New Civil Engineer Internat.. 1983. 60. 13.
2. **Huang R.Q., Zhang Z.Y., Wang S.T.** Engineering geological studies of creeping rock slopes.//Proc.7th Int. Cong. IAEG. Lisboa. Portugal. Rotterdam. Balkema. Vol.3.
3. **Muller L.** New consideration on the Vaiont slide.//Felsmechanik u. Ingenieurgeol. 1968. 6.
4. **Fankhauser U.** Der Bergsturz im Veltin-zwei Jahre danach.//Wasser Energ. Luft. 1989. 81. 11.
5. **Мягков С.М.** Природные опасности и стихийные бедствия. М.: 1992.
6. **Engineering News Record.** 1983. 210. 22.
7. **Watson R.** Clude dam landslips to add \$ 116 M to final costs.//Ground Engineering. 1990. 4.
8. **Behrens C.W., Hansen P.J.** Geology and related construction problems of the Grand Coulee dam project.//Int. circ. Washington Div. Geol. and Earth Resour. 1989. 86.
9. **Avalanche damages Colombian hydro plant.**//Int. Water Power & Dam Constr. 1990. Vol.42. 11.
10. **Niagara projects to boots power output.**//Modern Power and Engineering. 1964. 58. 12.
11. **Wheao collapse causes crisis of confidence.**//New Civil Engineering. 1983. 528, p.16-17.
12. **Monti. e foschi.** 1966. Vol.17. 5.
13. **Int. Water Power & Dam Constr.** 1991. Oct.. Vol.43. 11.
14. **Оползни и сели.** Под ред. Е.А. Козловского. М.: Центр международных проектов. ГКНТ. 1984.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТИРУЕМОЙ МЕЗЕНСКОЙ ПЭС

*Усачев И.Н., канд. техн. наук, Микоц Л.М., инженер
(АО НИИЭС)*

Мезенская ПЭС по проекту располагается в Мезенском заливе Белого моря, где сосредоточены основные запасы приливной энергии на Европейском побережье России. Прилив, поступаая в воронкообразную часть залива, достигает 9,1м. Створ ПЭС отсекает акваторию прибрежного бассейна площадью 2330км². Общая длина створа от м.Абрамовский до м.Михайловский составляет 84,8км (рис. 1).

море

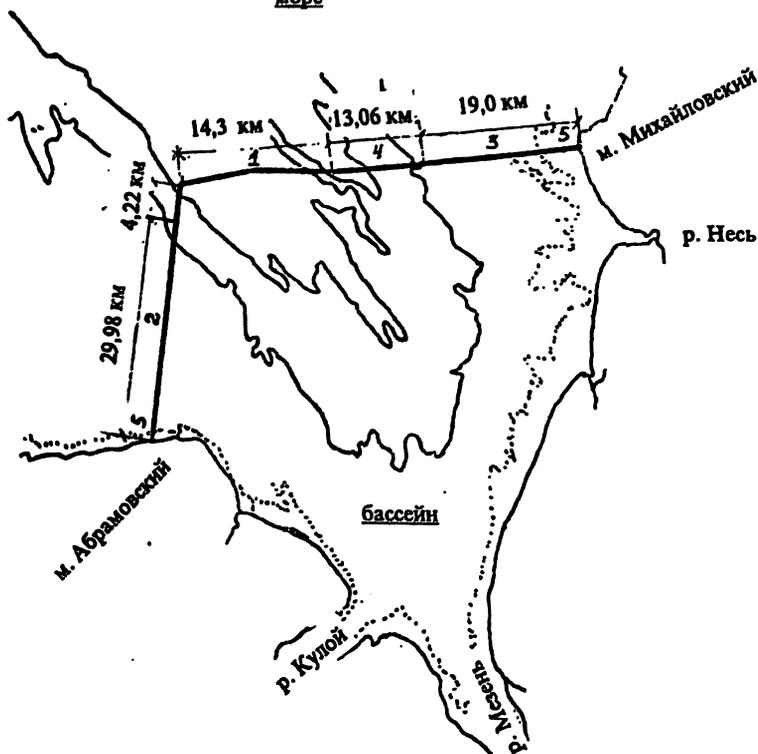


Рис.1. Генплан основных сооружений Мезенской ПЭС:
1- здание ПЭС; 2- западная глухая плотина; 3- восточная глухая плотина; 4 - водопропускные сооружения; 5 - водопропускные отверстия для прохода рыб.

На данной стадии проектирования на ПЭС предполагается разместить 370 агрегатов с диаметром рабочего колеса 10м, общей мощностью 11,4млн.кВт с передачей 40% в создаваемую объединенную энергосистему Европы «Восток-Запад» (рис.2).

При проектировании Мезенской ПЭС одним из основополагающих подходов было определение ее экологической безопасности. Вопрос рассматривался в двух аспектах: оценка влияния ПЭС на окружающую природную среду и оценка воздействия изменившихся параметров среды на эксплуатационные характеристики станции.

Для решения названных проблем под эгидой АО «Гидропроект» специалистами АО НИИЭС, ЛВИМУ им. Макарова, Ленгидропроекта, МГСУ им. Куйбышева, АО «ВНИИЭ», НТЦ «Шельф», СевПИПРО, Архангельского УГКС в течение длительного периода (1963-1998г.г.) на створах Мезенской ПЭС и прилегающей территории проводились натурные исследования и получены по ним математические и физические модели.

Первый аспект проблемы определил основные виды воздействия Мезенской ПЭС на наземные и водные экосистемы. Возведение станции неизбежно снижает естественный водообмен отсекаемой акватории с морем [1]. Гидрологический режим в отсеченном бассейне будет определяться режимами эксплуатации ПЭС и водопропускных сооружений. Так в бассейне Мезенской ПЭС будет наблюдаться снижение амплитуды максимальных колебаний уровня (уменьшение величины прилива будет достигать порядка 0,5м), некоторая сдвигка фазы прилива и изменение среднего уровня водной поверхности (уменьшение среднего уровня моря в бассейне на 1,6м) (рис.3).

Водообмен в зарегулированных условиях в оптимизационном режиме выработки энергии будет составлять 66% от естественного расхода.

Изменение величины прилива и снижение водообмена приведут к некоторому передвигению границ литоральной и сублиторальной зон, изменению термического и ледового режимов в отсеченном бассейне. Внутри бассейна скорости приливных течений уменьшатся с локализацией у плотины, но общая картина течений при приливе и отливе сохранится. Расположение створа плотины вне фронтального раздела по солености предопределяет малое влияние станции на генеральные черты режима солености вод залива и на его гидрохимические характеристики (рис.4). Все перечисленные факторы имеют как позитивные, так и некоторые негативные стороны.

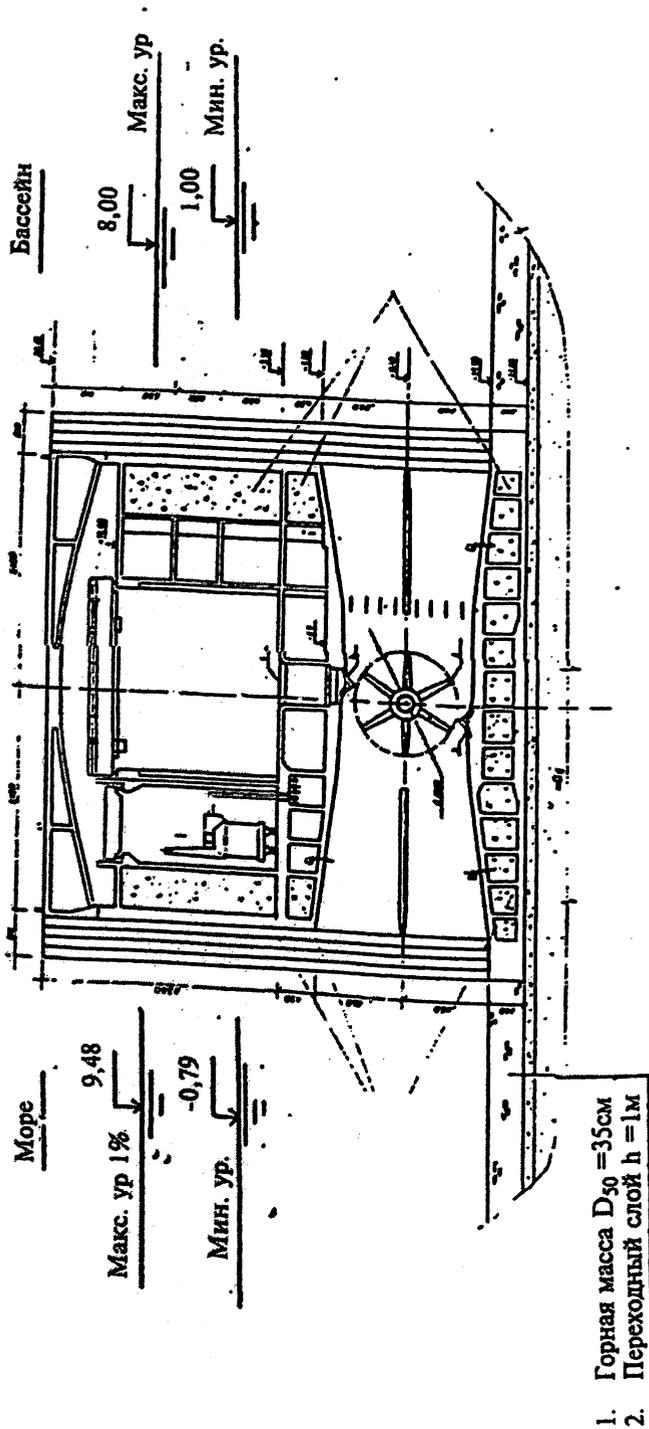


Рис.2. Наглавной блок Мезенской ПЭС с ортогональными агрегатами двустороннего действия (разрез по оси агрегатов, М 1:200).
 1 - Ортогональная турбина; 2 и 3 - выступы турбинной камеры;
 4 - крышка монтажной шахты турбины; 5- затвор жалюзийного типа.

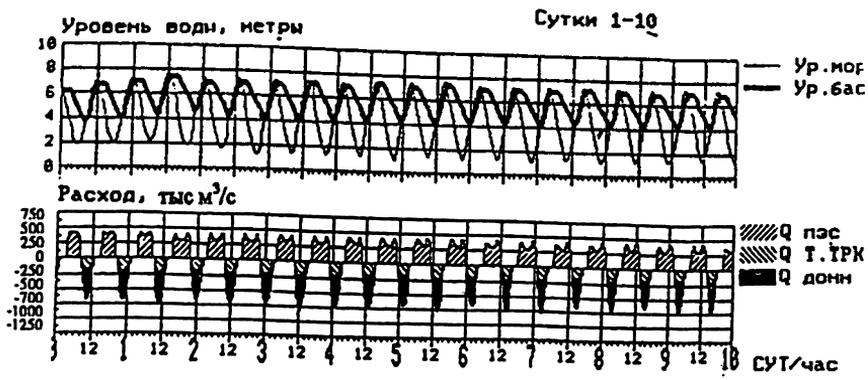


Рис.3. Уровни и расходы воды в бассейне Мезенской ПЭС

Так, принятая компоновка Мезенской ПЭС позволяет перекрыть вдольбереговой транспорт мутьевых потоков из мористой части залива и, тем самым, сохранить стабильность донных отложений. Согласно расчетам, выполненным в АО НИИЭС, полная стабилизация наносов ожидается через 1,5-2 года после ввода ПЭС в эксплуатацию.

Снижение степени прибойности положительно скажется на развитии макроводорослей, возможно увеличение их биомассы за счет уменьшения повреждающего действия штормов. Уменьшение скоростей течения и прибойности приведет к уменьшению мутности в бассейне, что положительным образом скажется на продуктивности пелагических и донных сообществ, в первую очередь на развитии фитопланктона и зоопланктона.

Снижение водообмена и изменение общей картины гидродинамики приведет к перераспределению донных отложений в бассейне ПЭС, что повлечет за собой перестройку донных биоценозов. Возможна гибель части организмов. Однако ущерб будет незначительным, так как после стабилизации наносов будет происходить восстановление сообществ как за счет местных форм, так и благодаря «биопроницаемости» плотины. Через водопропускные отверстия и турбины станции (при выравнивании уровней) будут проходить как личинки донных животных, так и взрослые особи (черви, крабы и др.). Эффект «биопроницаемости» плотины ПЭС подтверждается 30-летним опытом эксплуатации Кислогубской ПЭС и ПЭС Ранс во Франции [2,3,4].

Понижение уровня в бассейне приведет к перерождению верхней части осушенной зоны в наземный биотоп. С одной стороны это будет стимулировать развитие маршевой растительности - биотопа прибрежно-водных типов; с другой стороны произойдет потеря части пологой литорали, что несколько снизит продуктивность литоральной зоны.

Повышение нижнего уровня воды в бассейне во время отлива приведет к смещению наиболее продуктивной зоны верхней сублиторали. Будет происходить постепенное заселение горизонта соответствующими видами гидробионтов и одновременное отмирание нижнего водорослевого горизонта. Этот процесс потребует времени: по аналогии с действующими приливными станциями от 5 до 10 лет. При сохранении стабильного режима работы ПЭС установившееся на новом уровне биологическое равновесие будет устойчивым.

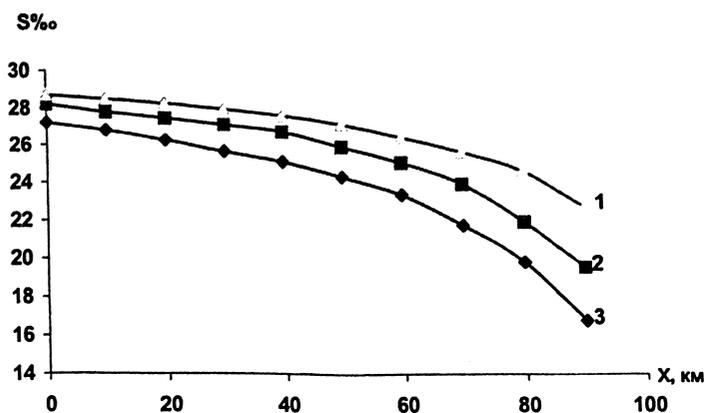


Рис.4. Распределение средних значений солености вдоль Мезенского залива в условиях ПЭС: 1 - весна, 2 - лето, 3 - осень

Мезенский залив является миграционным путем для семги, возвращающейся в реки с мест морского нагула. В эстуарной зоне некоторое время держится молодь семги, скатывающаяся с нерестово-выростных угодий в районы морского нагула. Для пропуска производителей на нерест ската молоди предусмотрены специальные рыбопропускные сооружения (рис.1), ориентированные по ходу естественных миграционных путей. Эффективность пропуска рыб через них оценивается в 60-65%.

Кроме этого возможен свободный (без повреждений) проход рыб через ортогональные агрегаты ПЭС. По данным исследований на ПЭС Ранс процент гибели производителей при прохождении через капсульные агрегаты с диаметром рабочего колеса 5,35м крайне незначителен; натурные же исследования на Кислогубской ПЭС вообще показали, что все 100% рыбы в поперечнике до 25см проходят через капсульный агрегат диаметром 3,3м без повреждений [3].

Для Мезенской ПЭС рассматривается вариант установки ортогональных турбин. Несомненное преимущество ортогональных турбин заключается в возможности их двусторонней работы, а также в значительном увеличении пропускной способности турбин (в холостом режиме в 2,2 раза) по сравнению с капсульными. Это позволяет уменьшить количество водопропускных отверстий, увеличить водообмен с отсеченным бассейном с 50 до 66%. Геометрия ортогональных агрегатов станции создает также условия свободного прохождения через ПЭС планктонных организмов и рыбы.

Новые условия обитания - распределение части акватории, снижение скоростей течения, частичная замена морских видов кормовых организмов на солоноватоводные или пресноводные с более высокими количественными характеристиками развития - приведут к расширению нагульных площадей и улучшению условий нагула для полупроходных рыб (сиг и нельма). В результате следует ожидать увеличения их численности, что и было подтверждено на ПЭС Ранс [2,4]. Небольшой ущерб (=на 2-3%) будет нанесен популяции морских видов рыб (сельдь, пинагора, камбала), так как в период их нереста (май-июнь) в бассейне будет наблюдаться локальное опреснение и охлаждение поверхностных слоев за счет таяния льда, что вызовет увеличение эмбрионального периода развития этих видов рыб и гибель части икры.

Строительство приливной станции в Мезенском заливе не окажет сколько-нибудь значительного воздействия на морских млекопитающих, обитающих или заходящих в залив. Распределение тюленей по акватории Белого моря имеет сезонные различия в связи с перемещением животных из одного района в другой. Следовательно, при блокировании залива тюлени смогут перейти в сопредельные места обитания.

При строительстве ПЭС под влиянием прямого и косвенного влияния человека часть коренных наземных растительных сообществ будет замещаться на производные. В дальнейшем

возможна тенденция появления пустошей. Однако зона воздействия крайне незначительна из-за применения наплавного способа строительства, по которому более 80% строительных работ переносится в промышленный центр в стройдок, что кардинально сглаживает негативные последствия. Этот же фактор определяет и крайне низкую степень влияния сооружения ПЭС на животный мир прилегающей территории. В фауне млекопитающих произойдут изменения, выраженные в отходе части животных в сопредельные места обитания, в видовом составе усилится роль млекопитающих, связанных с человеком (грызуны, мелкие хищники). В районе ПЭС может возрасти пресс охоты, увеличатся объемы рыболовства.

Приведенный выше перечень видов воздействия Мезенской ПЭС на окружающую природную среду позволяет оценить степень экологической безопасности станции. Несмотря на многообразие видов воздействия следует признать, что:

все воздействия ПЭС имеют сугубо локальный, а не глобальный характер;

перестройка наземных и водных сообществ под влиянием ПЭС, при соблюдении стабильного проектного режима ее эксплуатации, происходит, в основном, в пределах вариаций, наблюдаемых в естественных условиях и не представляющих опасности на биосферном и экосистемном уровнях. При соблюдении проектного режима работы Мезенской ПЭС абиотические характеристики среды в ее бассейне будут более стабильными, чем до сооружения станции. А именно стабильность среды обитания определяет разнообразие и богатство водных экосистем. Поэтому неизбежное при строительстве ПЭС изменение состава сообществ в конечном итоге может привести к формированию не менее ценных экосистем, чем те, что существовали до сооружения станции, что и подтверждается 30-летним опытом эксплуатации ПЭС Ранс [2, 4];

ПЭС не оказывает вредного воздействия на здоровье людей;

ПЭС не загрязняет атмосферу выбросами в отличие от тепловых станций, что особенно актуально в наши дни, когда проблема «парникового эффекта» выходит на первое место и когда решается вопрос о квотах на выбросы углекислого газа с применением дорогостоящих штрафов. Например, только сооружение Мезенской и Тугурской ПЭС предотвратит выброс 250млн.т. углекислого газа, золы, окислов серы и азота и позволит сохранить около 200млн.т. кислорода [6];

строительство ПЭС не приводит к затоплению и подтоплению земель, коренной перестройке растительных сообществ в зоне влияния, не требует компенсационных затрат на мелиорацию земель, не угрожает катастрофой при прорыве плотины в отличие от гидроэлектростанций;

ПЭС не представляет никакой потенциальной опасности в отличие от атомных станций. Например, ТЭО Тугурской ПЭС является альтернативой сооружения Амгумской АЭС на Дальнем Востоке, и все природоохранные и общественные организации выступают в настоящее время за приоритетное сооружение приливной станции [5].

Представляется также важным, что ряд установленных негативных воздействий Мезенской ПЭС на параметры окружающей среды, например на стабильность донных сообществ, на численность проходных и морских видов рыб, поддается регуляции с минимизацией негативного эффекта. Так, в проекте Мезенской ПЭС рассматривается целый ряд мероприятий по снижению негативных последствий: устройство конструктивных завес для локализации мутности в строительный период, расположение боковых водопропускных отверстий для прохода молоди рыб в местах нагула, сооружение искусственных нерестилищ типа «сетное крыло» и пр.

Второй аспект экологической безопасности Мезенской ПЭС определяется влиянием изменившихся параметров среды на состояние гидротехнических сооружений. Изменение абиотических факторов среды приведет к формированию более богатых в качественном и количественном отношении планктонных биоценозов в бассейне станции. Локальное опреснение вод бассейна вызовет увеличение численности и биомассы организмов - обростателей: моллюсков, мшанок и др. Появится новый биоценоз - биоценоз подводных сооружений, представленный, в основном, микроводорослями, червями, моллюсками, характеризующийся высокими количественными показателями. Все эти факторы приведут к интенсификации процесса обростания. Например, в водопропускном отверстии Кислогубской ПЭС биомасса обростаний достигла 208 кг/м^2 , что значительно выше биомассы естественных обростаний даже в южных морях [6]

В проекте Мезенской ПЭС предусмотрены решения по защите водоводов и оборудования ПЭС от обростаний с помощью апробированной на Кислогубской ПЭС электролизной установки. Для оценки ее эффективности, с одной сто-

роны, и влияния хлора на зоопланктонные организмы, с другой, были использованы данные натурных исследований на Кислогубской ПЭС, выполненные специалистами биологического факультета МГУ. Исследования показали, что существующая в настоящее время модификация электролизной установки эффективно защищает турбинные водоводы и агрегаты станции от обрастаний уже более 20 лет и при этом практически не оказывает летального воздействия на сообщества зоопланктонных организмов, так как зона действия ничтожно мала.

Таким образом, обширные исследования влияния проектируемой мощной Мезенской ПЭС на окружающую среду показали практически полную экологическую безопасность станции.

Экологическая экспертиза 1998 года специалистами биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и Международного независимого эколого-политологического Университета также определила «потенциальную экологическую безопасность приливной электростанции в выбранном створе Мезенского залива Белого моря».

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн Л.Б., Силаков В.Н., Усачев И.Н. и др. Приливные электростанции. 2 кн. М.: АО «Институт Гидропроект». 1994.
2. Усачев И.Н. 30 лет первой в мире приливной электростанции Ранс во Франции. //Гидротехническое строительство. 1997. 7.
3. Морфенин Н.Н., Малютин О.И., Усачев И.Н. и др. Влияние приливных электростанций на окружающую среду. М.: МГУ. 1995.
4. Retiere Ch., Bonnot-Courtois C., Le Mao P., Desroy N. Etat ecologique de Bassin maritime de la Rance au terme de 30ans de fonctionnement de l'usine maremotrice. La Houille Blanche. Paris, 1997. 3.
5. Усачев И.Н. Безопасность эксплуатации приливных электростанций. //Безопасность энергетических сооружений. 1998. вып.2-3.
6. Усачев И.Н., Морфенин Н.Н. Экологическая безопасность приливных электростанций. //Гидротехническое строительство. 1998. 12.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ КАРБОНАТНЫХ ШЛАМОВ ПРЕДОЧИСТОК ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Москалина Ф.Н., доктор техн. наук, Бейлин Я.Л., кандидат техн. наук (ЗАО «Компания ЭЭТ»), Храмчихин А.М., Преснов Г.В., инженеры (ОАО «Мосэнерго»), Бритвин С. О., кандидат техн. наук, Розенфельд А.А., инженер (АО НИИЭС), Будаев С.С., Егоров Н.С., кандидаты техн. наук (ИОТТ).

Утилизация карбонатных шламов предочисток ТЭЦ является проблемой государственного масштаба, поскольку в Российской Федерации ежегодно образуется около 300 тыс. тонн таких отходов, при этом в шламоотвалах их уже накоплено примерно 4 млн. тонн.

Эти отходы загрязняют окружающую среду и наносят большой экологический ущерб. Отсюда следует актуальность срочного научно-технического решения вопроса промышленной утилизации карбонатных шламов водоподготовки ТЭЦ. В последние годы эта проблема особенно обострилась для ТЭЦ ОАО «Мосэнерго», производящей 13% тепла и 10% электроэнергии от выработки всей России. Водопотребление по ОАО «Мосэнерго» в 1997г. составило 1,34 млрд. м³, в т.ч. по г.Москве - 624 млн. м³, при этом питьевой воды потреблено 17,9 млн. м³, по г. Москве - 16,4 млн. м³. Постановление Правительства г.Москвы от 17 декабря 1996г. «О ходе работ по энергосбережению» предполагает исключение потребления питьевой воды на технологические нужды в ближайшие годы. Это становится одной из основных задач при эксплуатации ТЭЦ ОАО «Мосэнерго».

До настоящего времени, несмотря на значительное количество проведенных исследований по использованию карбонатных шламов (строительство, сельское хозяйство и др.) [1,2,3], положительных результатов не было получено.

Анализ показывает, что основные причины отсутствия эффективных способов промышленной утилизации шламов заключается в следующем:

решение проблемы промышленной утилизации шлама жестко предопределяется состоянием технологии его осушки до влажности 8-24 %. Отечественное оборудование, предназначенное для влагоудаления шламов (фильтр-прессы, вакуум-фильтры и центрифуги), не обеспечивает указанного выше уровня влажности шламов и, следовательно, все раз-

работанные предложения не могут быть реализованы;

для транспортировки шламов необходимо их окускование с получением продукта, обладающего необходимыми свойствами: прочностью, влагуостойчивостью и возможностью дозировки при промышленном использовании. Такой способ окускования карбонатных шламов до последнего времени отсутствовал;

в качестве возможных потребителей карбонатных шламов ТЭЦ рассматривались только такие отрасли, как строительство и сельское хозяйство, которые имеют ограниченные возможности для утилизации шламов в больших количествах (нерегулярность поставок, необходимость наличия больших складских помещений, распределение шламов по большим площадям). Эти факторы не позволяют утилизировать карбонатные шламы в больших объемах (например, шламы ТЭЦ ОАО «Мосэнерго», годовой выход которых составляет около 40000 тонн в сухом виде) и тем более использовать накопления отходов в шламоотвалах.

В последние годы расчетно-теоретические разработки и широкие опытно-промышленные исследования по утилизации карбонатных шламов ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» проводились ЗАО «Компания «Экология Энергетики и Технологии» (Компания «ЭЭТ», г. Москва) и Институтом обогащения твердого топлива (ИОТТ, г. Люберцы, Московская обл.) совместно со службами водоподготовки ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» и РАО ЕЭС России, что позволило получить положительные результаты по рассматриваемой проблеме.

Прежде всего следует отметить, что шламы предочисток ТЭЦ представляют смесь мелкодисперсных частиц размером 20-1000 мкм с исходной влажностью 85-95% следующего примерного состава: CaO - 44,4-48,2%, SiO₂ - 2,4-13,8%, MgO - 3,6-6,3%, Fe₂O₃ - 4,4-5,4%, Al₂O₅ - 1,6-3,8%, сера - 0,2-0,4%. Суммарное содержание CaCO₃ + MgCO₃ составляет 90,5-93,6%.

По нормам Госсанэпиднадзора г.Москвы карбонатные шламы ТЭЦ характеризуются как нетоксичные отходы. Карбонатные шламы обладают свойством когезионного сцепления частиц при наложении внешнего давления. Исходя из указанных свойств шламов, разработанная концепция их утилизации включает следующие положения.

1. Производится окускование карбонатного шлама путем его брикетирования на механическом прессе при удельном давлении 30-35МПа, при этом производятся брикеты кубической формы различных размеров - от 30 до 100мм в зависимости от технологических требований. Влажность шлама, посту-

пающего в брикетный пресс, находится в пределах 12-16 %. Эта технология брикетирования карбонатного шлама защищена Патентом РФ [9]. Брикетты обладают необходимыми свойствами для длительных транспортировок и высокотемпературной обработки - прочность на раздавливание одного брикета составляет 90-120кг/см², они характеризуются достаточной влажностойкостью, а также термостойкостью до 600-800 °С.

2. Для обезвоживания шлама до требуемых значений применяется комплекс оборудования, ранее не используемого для осушки шламов и разработанного в последнее время для обезвоживания мелкодисперсных материалов и суспензий (промышленных стоков, отходов и др.). Комплекс состоит из двух установок - центрифуги-декантера типа HD-43М (производитель - фирма Westfalia Separator, ФРГ) и двухлопастной сушильной машины типа 6W-210 (производитель - фирма Komline-Sanderson, США), обогреваемой водяным паром с температурой 157°С. Указанное оборудование позволяет снизить влажность шлама от исходных 85-95% до 35-40% (в центрифуге) и до 8-24% (в сушилке). Применение комплекса центрифуга-сушилка полностью обеспечивает технологические требования к подготовке карбонатного шлама для его брикетирования.

3. В качестве массового потребителя карбонатных брикеттов предложено металлургическое производство, а именно, использование их в доменном и сталеплавильном переделах, так как в технологиях производства чугуна и стали для получения шлаковых расплавов применяются флюсовые добавки, состоящие из карбонатных материалов (CaCO₃ и MgCO₃) в виде известняков. Количество таких добавок значительно - например, на 1 тонну чугуна требуется 100-150кг природного известняка. При среднегодового производстве 3млн. тонн чугуна (АК «Тулачермет») потребление известняка только для одного завода составляет около 300-350тыс. тонн в год. Исследования показывают, что в доменном производстве вместо известняка могут применяться карбонатные брикетты из шламов ТЭЦ, т.к. они полностью удовлетворяют технологическим требованиям при выплавке чугуна.

Технология применения карбонатных брикеттов ТЭЦ в доменном производстве запатентована [10]. Расчеты показывают, что применение брикеттов в количестве 30-40 кг/т чугуна позволяют сэкономить за год на доменных печах АК «Тулачермет» 5-6 тыс. тонн дорогостоящего кокса и получить экономический эффект в сумме 700-800 тыс. долларов США. Значительный эффект может быть получен и при производст-

ве стали в мартеновских печах и в конверторах, а также при выплавке качественных сталей и ферросплавов в электропечах.

Учитывая, что в Российской Федерации производство чугуна составляет около 35млн. тонн в год, для доменного производства потребуется карбонатных флюсов в количестве около 3-4млн. тонн. Следовательно, можно сделать вывод, что металлургическая отрасль может стать крупнейшим потребителем карбонатных шламов ТЭЦ как текущего производства, так и находящихся в шламоотвалах. Таким образом, может быть найдено решение важнейшей экологической проблемы России - могут быть полностью исключены сбросы шламовых отходов предочисток ТЭЦ в открытые водоемы и достигнуто оздоровление окружающей среды мегаполисов (г. Москва, Санкт-Петербург и др.) и промышленных регионов. Одновременно решаются вопросы ресурсосбережения - экономятся дорогостоящие коксовые угли, снижаются затраты на производство кокса, сокращаются расходы на добычу и транспортировку известняков для металлургических нужд и эксплуатацию известковых карьеров.

Карбонатные шламы ТЭЦ из категории «отходы», нуждающиеся в захоронении и хранении, переводятся в категорию «вторичные ресурсы» и вовлекаются в производство металлов, обеспечивая значительный народно-хозяйственный эффект.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Толочко А.И., Славин В.И., Супрун Ю.М. и др. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии. Челябинск: Металлургия. 1990.
2. Рабич В.М. Комплексное использование сырья и топлива. М.: Химия.1988.
3. Энергетика и электрификация. 1981. 4.
4. Данилович И.Ю. и др. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов. М.: Высшая школа. 1988.
5. Гвоздев В.Д. и др. Очистка производственных сточных вод. Л.: Стройиздат. 1988.
6. Евилевич А.З. и др. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Стройиздат. 1988.
7. Алексин Ю.А, Люсов А.Н. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат. 1988.
8. А.С. СССР 1253105. Установка получения извести из шлама осветителей.
9. Патент РФ 2105043. «Способ получения брикетов» с приоритетом от 27.03.96г.
10. Патент РФ 2114181. «Способ доменной плавки» с приоритетом от 05.02.96г.

БИБЛИОГРАФИЯ ПУБЛИКАЦИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Самарин В.Г., кандидат техн. наук (АО НИИЭС)

Ниже приведена библиография публикаций по правовым, нормативным, методическим, социально-экологическим, организационным и другим общим аспектам проблемы безопасности гидротехнических сооружений. Библиография составлена на базе таких изданий (с 1990г.), как научно-технический журнал «Гидротехническое строительство», научно-практический журнал «Энергетическое строительство» (издавался до 1995г. включительно), научно-технический и производственный сборник «Безопасность энергетических сооружений» (издается АО НИИЭС с 1998г.), Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева и Сборник научных трудов Гидропроекта, имеющихся в фондах научно-технической библиотеки АО НИИЭС.

Публикации сгруппированы в 12 тематических разделах, в которых располагаются в хронологическом порядке (по годам).

При составлении библиографии существенную помощь оказала И.В. Капустина, заведующая научно-технической библиотекой АО НИИЭС.

Для краткого обозначения изданий в источниках, включенных в библиографию, приняты следующие сокращения: ГТС - журнал «Гидротехническое строительство»; ЭС - журнал «Энергетическое строительство»; БЭС - сборник «Безопасность энергетических сооружений»; Изв. ВНИИГ - Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева; Тр. Гидропроекта - Сборник научных трудов Гидропроекта; Тр. Безопасность плотин - «Безопасность плотин». Труды Международного симпозиума по новым тенденциям и руководствам по безопасности плотин, Барселона, Испания, 17-19 июня 1998г. Под редакцией Л. Берга. Тома 1 и 2. А.А. Балкема, Роттердам, Букфилд, 1998 (Dam Safety. Proceedings of the International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety, Barcelona, Spain, 17-19 June 1998. Edited by L. Berga. Volume 1, XV pp. + pp. 1-796. Volume 2, XI pp.+pp. 799-1588. А.А. Balkema, Rotterdam, Bookfield, 1998).

**1. ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ ДОКУМЕНТЫ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ (РФ) О БЕЗОПАСНОСТИ, ОРГАНИЗАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОГО НАДЗОРА И ДЕКЛАРИРОВАНИИ
БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

1. Федеральный закон от 21 июля 1997г. 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». //Собрание законодательства РФ, 1997г., 30, ст.3588, с. 5871-5882.
2. Федеральный закон от 21 июля 1997г. 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений». //Собрание законодательства РФ, 1997г., 30, ст.3589, с.5883-5891.(см. также ГТС, 1997, 12, с.1-7).
3. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (положение). Постановление Правительства РФ от 5 ноября 1995г. 1113. //Собрание законодательства РФ, 1995, 46, ст.4459, с.8247-8265.
Примечание: этим постановлением признано утратившим силу постановление Правительства РФ от 18 апреля 1992 г. 261 «О создании Российской системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях».
4. Об обеспечении безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений. Постановление Правительства РФ от 23 апреля 1996 г. 519. //Собрание законодательства РФ, 1996, 18, ст.2167, с.4690-4691.
5. Об организации государственного надзора за безопасностью гидротехнических сооружений. Постановление Правительства РФ от 16 октября 1997. 1320. //Собрание законодательства РФ, 1997, 42, ст.4794, с.8643-8644.
6. О внесении изменений в постановление Правительства РФ от 23 апреля 1996г. 519. //Собрание законодательства РФ, 1998, 32, ст.3898, с.7487.
7. О порядке формирования и ведения Российского регистра гидротехнических сооружений. Постановление Правительства РФ от 23 мая 1998 г. 490. //Собрание законодательства РФ, 1998, 22, ст.2462, с.4652.
8. Изменения и дополнения, которые вносятся в решение Правительства Российской Федерации в связи с Федеральным законом «О безопасности гидротехнических сооружений». Постановление Правительства РФ от 13 августа 1998г. 950. //Собрание законодательства РФ, 1998, 34, ст.4087, с.7897-7898 (см. также ГТС, 1999, 3, с.5).
9. Положение о декларировании безопасности гидротехнических сооружений. Постановление Правительства РФ от 6 ноября 1998г. 1303. //Собрание законодательства РФ, 1998, 46, ст. 5698, с.10377-10381 (см. также «Российскую газету» от 26 ноября 1998г.; ГТС, 1999, 3, с.2-4).
10. Об утверждении Положения об эксплуатации гидротехнического сооружения и обеспечении безопасности гидротехнического сооружения, разрешение на строительство и эксплуатацию которого аннулировано, а также гидротехнического сооружения, подлежащего консервации, ликвидации либо не имеющего собственника. Поста-

новление Правительства РФ от 27 февраля 1999г. 237. //Собрание законодательства РФ, 1999, 10, ст.1249, с.2239-2241.

Примечание: Этим постановлением признаны утратившими силу постановления Правительства РФ от 23 апреля 1996г. 519 «Об обеспечении безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений» и от 28 июля 1998г. 852 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 23 апреля 1996г. 519».

II. О ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТАХ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, СТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМАХ И ПРАВИЛАХ

1. Василевский А.Г., Серков В.С., Царев А.И. Замечания к разделу III Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (издание четырнадцатое). //ГТС, 1990, 12, с.55-58.
2. Кузовлев Г.М. Некоторые замечания по СНиП 2.06.15-85 [«Инженерная защита территорий от затопления и подтопления»]. //ГТС, 1991, 1, с.48-50.
3. Кузовлев Г.М. Некоторые замечания по СНиП 2.06.08-87 [Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений]. //ГТС, 1991, 5, с.43-44.
4. Кутырин И.М. О санитарных правилах и нормах охраны поверхностных вод от загрязнения. // ГТС, 1991, 5, с.45.
5. Мордвинова А.Н. Пособие к СНиП 2.06.01-86 «Проектирование зданий ГЭС и ГАЭС. Расчеты и конструирование». //ГТС, 1991, 12, с.53.
6. Залесов А.С. Современное состояние и перспективы развития нормирования и стандартизации железобетона. //ЭС, 1991, 2, с.32-33.
7. Фрид С.А. К вопросу о пересмотре и совершенствовании ряда положений некоторых СНиП [2.06.06-85 и 2.06.06-87]. //ЭС, 1991, 2, с.33-35.
8. Карпенко Н.И. К разработке строительных норм автоматизированного проектирования железобетонных конструкций (СНАП. Железобетонные конструкции). //ЭС, 1991, 2, с.40-47.
9. Серков В.С. Новая переработанная редакция глав 3.1 и 3.2 Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (издание 14). //ГТС, 1992, 2, с.54-55.
10. Кузовлев Г.М. Некоторые замечания по СНиП 2.01.15-90 [Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования]. //ГТС, 1993, 6, с.52-53.
11. Васильев А.Б., Мгалобелов Ю.Б. О нормировании безопасности гидротехнических сооружений при проектировании. //ГТС, 1993, 12, с.14-21.
12. Золотов Л.А., Радкевич Д.Б., Иващенко И.Н., Рассказов Л.Н., Гольдин А.Л. О реализации концепции безопасности гидротехнических сооружений при разработке нормативно-правовых документов. //ГТС, 1994, 1, с.7-9.

13. Данилевский А.А. Законодательство по безопасности плотин в Соединенных Штатах Америки. //ГТС, 1994, 1, с.26-30 (см. также его статью на английском языке в журнале «Water Power» (Великобритания), 1993, vol.45, 8, p.24-27).
14. Караваев А.В. Основные положения новых норм проектирования бетонных и железобетонных плотин. //ГТС, 1994, 10, с.40-41.
15. Шатыгин В.А. Анализ одной рекомендации СНиП 2.06.05-84* «Плотины из грунтовых материалов». //ГТС, 1994, 10, с.42-44.
16. Сапегин Д.Д., Пак А.П., Ширяев Р.А., Липовецкая Т.Ф. Основные этапы формирования системы нормативных документов по проектированию оснований гидротехнических и энергетических сооружений и плотин из грунтовых материалов. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.231, с.615-627.
17. Перечень основных нормативных документов [по гидротехническим сооружениям]. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.231, с.627-628.
18. Караваев А.В., Пак А.П. Нормативные документы по проектированию бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.315-326.
19. Васильевский А.Г. Задачи создания нормативно-методической базы по надежности и безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений. //ГТС, 1997, 6, с.1-5.
20. Пониматкин П.У. Об опечатках и неточностях в действующих нормативных документах на проектирование [гидротехнических и других сооружений]. //ГТС, 1998, 5, с.52.
21. Михаленко Е.Б., Мищенко С.М., Фролов С.А. Новые методы нормирования волновых нагрузок на морские гидротехнические сооружения. //ГТС, 1998, 11, с.53-56.
22. Мгалобелов Ю.Б. Об оценке, безопасности гидротехнических сооружений. [О современных СНиПах]. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.25-32.
23. Радкевич Д.Б. Закон о безопасности гидротехнических сооружений в России. //Тр. «Безопасность плотин», т.1, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с.75-77 (на англ. языке).
24. Беллендир Е.Н., Липовецкая Т.Ф., Радченко В.Г., Сапегин Д.Д. Российские нормативные документы по безопасности и надежности грунтовых плотин. // Тр. «Безопасность плотин», т.1, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с.79-85 (на англ. языке).
25. Интервью с руководителем Департамента государственного энергетического надзора и энергосбережения Минтопэнерго России Борисом Петровичем Варнавским. // ГТС, 1999, 5, с.2-5.

III. О КРИТЕРИЯХ, ОЦЕНКЕ, ОБЕСПЕЧЕНИИ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ДЕКЛАРИРОВАНИИ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Бердичевский Г.Ю., Бронштейн В.И., Мгалобелов Ю.Б. Концепция оценки безопасности арочной плотины Ингурской ГЭС. //ГТС, 1990, 1, с.24-27.
2. Рассказов Л.Н., Сепеда В.К. К оптимизации конструкций грунтовых плотин. //ГТС, 1990, 1, с.27-30.

3. **Викторов А.М.** Безопасность плотин (письмо в редакцию). //ГТС, 1990, 8, с.52-53.
4. **Серков В.С.** Основные направления обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. //ГТС, 1990, 9, с.3-5.
5. **Дурчева В.Н., Пучкова С.М.** К вопросу о выборе параметров, контролирующих надежную работу бетонных плотин. // ГТС, 1990, 9, с.5-8.
6. **Соловьева З.И.** О надежности гидротехнических сооружений. //ГТС, 1990, 12, с.47-51. (Дискуссия в связи со статьей **Золотова Л.А., Иващенко И.Н., Царева А.И.** Критерии безопасности плотин. //ГТС, 1998, 11, с.34-37).
7. **Стефанишин Д.В.** К оценке надежности грунтовых противодиффузионных устройств (ядер, экранов). //Изв. ВНИИГ, 1990, т.221, с.144-147.
8. **Иващенко И.Н.** Методика оперативной оценки безопасности гидротехнических сооружений. //Тр. Гидропроекта. 1990, вып.135, с.12-19.
9. **Бердичевский Г.Ю., Мгалобелов Ю.Б.** Об определении критериев безопасности работы арочной плотины Ингурской ГЭС. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып. 135, с.56-60.
10. **Золотов Л.А., Иващенко И. Н.** Безопасность гидротехнических сооружений. //ГТС, 1991, 2, с.29-34.
11. **Золотов Л.А., Иващенко И. Н., Царев А.И.** К вопросам о надежности гидротехнических сооружений и критериях безопасности. //ГТС, 1991, 9, с.54.
12. **Иващенко И.Н., Кирдода П.А.** Оценка и выбор вариантов гидротехнических сооружений на многокритериальной основе. //ГТС, 1991, 10, с.8-13.
13. **Залесский Ф.В., Залесский В.Ф.** Определение изменчивости различных воздействий, влияющих на гидротехнические сооружения. //ГТС, 1991, 10, с.14-15.
14. **Стефанишин Д.В., Шульман С.Г.** Методика оценки надежности и безопасности золоотвалов и хвостохранилищ. //Изв. ВНИИГ, 1991, т.225, с.12-18.
15. **Стефанишин Д.В., Гавриленко Т.В.** Некоторые предложения по количественной оценке надежности водосбросов. //Изв. ВНИИГ, 1991, т.225, с.29-33.
16. **Стефанишин Д.В., Штильман В.Б.** К оценке надежности плоского секционного затвора водосброса. //Изв. ВНИИГ, 1991, т.225, с.51-55.
17. **Стефанишин Д.В., Шульман С.Г.** Проблемы надежности гидротехнических сооружений. //Изд. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, СПб, 1991.
18. **Иващенко И.Н., Диковинный С.В.** Влияние "человеческого фактора" на надежность гидротехнических сооружений. //Тр. Гидропроекта, 1991, вып.145, с.199-208.

19. Марчук А.Н. О некоторых современных тенденциях в строительстве больших бетонных плотин (по материалам 16 и 17 конгрессов и семинаров СИГБ). //ГТС, 1992, 1, с.1-4.
20. Стефанишин Д.В. К оценке эксплуатационной надежности грунтовых плотин. //ГТС, 1993, 8, с.25-32.
21. Соловьева З.И. Безопасность гидротехнических сооружений. //ГТС, 1993, 5, с.14-17.
22. Лященко С.Я. Задачи обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. //ГТС, 1993, 12, с.1-3.
23. Новожилов И.А. Безопасность гидротехнических сооружений. //ГТС, 1993, 12, с.4-5.
24. Мызников Ю.Н. Конструктивно-технологические решения, обеспечивающие надежность грунтовых плотин на Крайнем Севере. //ГТС, 1993, 12, с.33-38.
25. Красильников Н.А. Практика разработки критериев безопасного состояния земляной плотины по устойчивости откосов. //ГТС, 1993, 12, с.43-46.
26. Стефанишин Д.В. Расчет деревьев отказов для грунтовых плотин с учетом стохастических связей между событиями. //Изв. ВНИИГ, 1993, т.227, с.33-46.
27. Гавриленко Т.В. Анализ надежности водосброса на основе системного подхода. //Изв. ВНИИГ, 1993, т.227, с.84-90.
28. Иващенко И.Н., Кирдода П.А. Обоснование вариантов грунтовой плотины на многокритериальной основе. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.154, с.119-129.
29. Иващенко И.Н. Инженерная оценка надежности грунтовых плотин. //Библиотека гидротехника и гидроэнергетика. М: Энергоатомиздат, 1993, вып.105, 144 с.
30. Пирхер В. (президент СИГБ). 36000 больших плотин существует, а требуется еще больше. //ГТС, 1994, 5, с.11-20.
31. Василевский А.Г., Стефанишин Д.В. Понятия, определения, критерии и подходы при анализе надежности и безопасности гидротехнических сооружений. //ГТС, 1994, 11, с.39-43.
32. Надежность напорных гидротехнических сооружений - государственная задача безопасности населения. //ГТС, 1995, 2, с.1-2.
33. Александровская Э.К. Особенности и оценка состояния бетонных плотин, находящихся в длительной эксплуатации. //ГТС, 1995, 4, с.17-19.
34. Блинов И.Ф., Черненко В.Н., Пересыпко Л.Я., Иванущенко В.С. О предельно допустимых значениях показателей состояния сооружений Загорской ГАЭС. //ГТС, 1996, 4, с.11-18.
35. Яшкуль Д.М. Обеспечение надежности и безопасности гидротехнических сооружений Пазских ГАЭС. //ГТС, 1996, 6, с.50-52.

36. Золотов Л.А., Иващенко И.Н., Радкевич Д.Б. Оперативная количественная оценка уровня безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений. //ГТС, 1997, 2, с.40-43.
37. Стефанишин Д.В. Оценка нормативной безопасности плотин по критериям риска. //ГТС, 1997, 2, с.44-47.
38. Золотов Л.А., Иващенко И.Н., Лопатин Н.А., Радкевич Д.Б. Правовое регулирование обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. //ГТС, 1997, 12, с.8-9.
39. Кузьмин К.К. Некоторые вопросы напряженного состояния и надежности плотины Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1998, 9, с.7-11.
40. Стефанишин Д.В. Первоочередные задачи по вероятностным расчетам сооружений при составлении деклараций их безопасности. //ГТС, 1998, 10, с.1-6.
41. Бритвин С.О., Золотов Л.А. Научно-исследовательский институт энергетических сооружений. Ориентация на проблемы безопасности. //БЭС, 1998, вып.1, с.12-18.
42. Бритвин С.О., Иващенко И.Н., Семенов И.В. О проекте отраслевой научно-технической программы "Безопасность гидротехнических сооружений". //БЭС, 1998, вып.2-3, с.18-22.
43. Иващенко И.Н. Об опыте декларирования безопасности гидротехнических сооружений. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.32-37.
44. Зарецкий Ю.К., Карабаев М.И., Хачатурьян Н.С., Соловьева Л.Д. Оценка безопасности порталов гидротехнических туннелей. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.156-163.
45. Иващенко И.Н., Малаханов В.В., Толстиков В.В. Количественная оценка безопасности гидротехнических сооружений. //Тр. «Безопасность плотин», т.1, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с.211-218 (на англ. языке).
46. Василевский А.Г., Каган А.А., Кривоногова Н.Ф. Надежность оснований плотин, строящихся в зоне вечной мерзлоты. //Тр. «Безопасность плотин», т.1, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с.553-556 (на англ. языке).
47. Карабаев А.В., Судаков В.Б. Оценка надежности старых гравитационных плотин. //Тр. «Безопасность плотин», т.1, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с.717-720 (на англ. языке).
48. Василевский А.Г., Дурчева В.Н. Назначение показателей состояния эксплуатируемых высоких бетонных плотин. //ГТС, 1999, 2, с.2-6.
49. Бобков С.Ф., Боярский В.М., Векслер А.Б., Швайнштейн А.М. Основные факторы учета пропускной способности гидроузлов при декларировании безопасности. //ГТС, 1999, 4, с.2-9.

IV. О СТРАХОВАНИИ, РИСКАХ ОТКАЗОВ И АВАРИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

1. **Иващенко И.Н.** Разработка и внедрение методов оценки риска аварий гидротехнических сооружений и методов страхования ответственности за последствия аварий. //БЭС, 1998, вып.1, с.22-31.
2. **Орлов А.В.** Страхование гидротехнических сооружений. //БЭС, 1998, вып. 2-3, с.17-25.
3. **Калустян Э.С.** Риски отказов бетонных плотин. //БЭС, 1998, вып.2-3, с. 37-44.
4. **Беллендир Е.Н., Сольский С.В., Пантелеев В.Г., Никитина Н.Я.** Анализ риска и декларирование безопасности золошлакоотвалов. //БЭС, 1998, вып.2-3, с. 44-54.
5. **Калустян Э.С.** Риски разрушений бетонных плотин на скальных основаниях. //Тр. Безопасность плотин, т.1, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с. 383-385 (на англ. языке).

V. ОБ ОРГАНИЗАЦИИ НАДЗОРА ЗА БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

1. **Шахсуваров К.В.** Организация отраслевого надзора за безопасностью водоподпорных сооружений электростанций. //ГТС, 1993, 12, с.27-29.
2. **Серков В.С., Василевский А.Г.** Отраслевой надзор за безопасностью гидротехнических сооружений электростанций в условиях развития рыночных отношений и преобразования организационно-правовых форм энергопредприятий. //ГТС, 1994, 1, с.4-6.
3. **Варнавский Б.П., Радкевич Д.Б.** Государственный надзор за безопасностью гидротехнических сооружений электростанций. //БЭС, 1998, вып.1, с.6-11.
4. **Ивашищев Д.А., Серков В.С., Василевский А.Г.** Система надзора за безопасностью гидротехнических сооружений в России. //Тр. «Безопасность плотин», т.1, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с. 149-151 (на англ. языке).

VI. О ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ, АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И АППАРАТУРЕ, МЕТОДАХ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

1. **Колесников В.И., Долгий В.Ф., Журавлев Ю.Н.** Принципы разработки автоматизированной системы технической диагностики гидроагрегатов. //ГТС, 1990, 10, с.43-47.
2. **Драгинич В.В., Драгинич Г.О.** , Акустический контроль глубины распространения водозаполненных трещин в межсекционных швах бетонных плотин. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.221, с.60-62.
3. **Карманов И.В., Хорьков В.И., Дубовик Л.Я., Долгов В.А.** Возможности использования ИК-радиометров по выявлению внутренних неоднородностей строительных конструкций гидротехнических сооружений. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.221, с.69-73.

4. Добрынин С.Н., Кузнецов О.М., Тихонова Т.С., Троицкий Н.П., Кузнецов В.С. О проектировании и создании автоматизированной информационно-поисковой системы натуральных наблюдений на гидротехнических сооружениях. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.221, с. 80-89.
5. Артюхина Т.С., Добрынин С.Н., Кузнецов О.М., Тихонова Т.С., Троицкий Н.П., Логунов А.А. Создание автоматизированной информационно-поисковой системы «Отечественные и зарубежные гидроузлы». //Изв. ВНИИГ, 1990, т.221, с.89-94.
6. Волков В.П., Кадыскина Н.А. О тензометрическом методе определения напряжений в бетонных гидросооружениях. //Изв. ВНИИГ, 1990, т. 222, с.19-21.
7. Северов А.П. Автоматизированная система контроля состояния энергетических сооружений на базе микроЭВМ. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.135, с.7-11.
8. Радкевич Д.Б., Коновалов И.К. Новые измерительные преобразователи для систем диагностического контроля сооружений электростанций. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.135, с.116-122.
9. Гусев Н.Н. Средства измерения динамических величин на основе струнных преобразователей с импульсным способом возбуждения. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.135, с.132-136.
10. Василевский А.Г., Некрасов Ю.Д., Добрынин С.Н. Автоматизация диагностического контроля состояния гидросооружений. //ГТС, 1991, т. 2, с.20-24.
11. Радкевич Д.Б., Хейфиц В.З. Автоматизированные системы контроля состояния плотин. //ГТС, 1991, 1, с.29-32.
12. Добрынин С.Н. О внедрении и исследовании вычислительной техники и измерительных систем. //ГТС, 1992, 6, с.10-12.
13. Тихонова Т.С. Разработка информационно-аналитического комплекса по обеспечению надежности и безопасности гидроузлов. //Изв. ВНИИГ, 1991, т.225, с.119-124.
14. Золотов О.Н. Организация банка данных автоматизированной системы научных исследований подземных сооружений (АСНИ-ПС). //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.145, с.158-165.
15. Гусев Н.Н. Импульсивное возбуждение резонаторов струнных преобразователей при изменении динамических величин. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.145, с.166-170.
16. Василевский А.Г., Дубовик Л.Я., Штенгель В.Г. Неразрушающие методы контроля в системе диагностики гидротехнических сооружений. //ГТС, 1993, 12, с.21-22.
17. Добрынин С.Н., Кузнецов О.М., Тихонова Т.С. Автоматизированная информационно-поисковая система (банк данных) аварийных ситуаций и отказов на ГЭС мира. //Изв. ВНИИГ, 1993, т.227, с.104-108.
18. Добрынин С.Н., Кузнецов О.М., Тихонова Т.С. Автоматизированная информационно-поисковая система (банк данных) нормативно-технической документации (СНиПов). //Изв. ВНИИГ, 1993, т.227, с.109-110.

19. Хейфиц В.З., Марков А.И., Брайцев В.В. Проблемы единства измерений в обеспечении безопасности гидротехнических сооружений. //ГТС, 1994, 1, с.14-17.
20. Добрынин С.Н., Кузнецов О.М., Тихонова Т.С., Артюхина Т.С. Информационно-аналитическое обеспечение системы надежности и безопасности ГТС ГЭС. //ГТС, 1994, 2, с.13-15.
21. Добрынин С.Н., Тихонова Т.С. Комплексная система банков данных по информационно-аналитическому обеспечению надежности и безопасности гидротехнических сооружений. //ГТС, 1995, 2, с.18-20.
22. Некрасов Ю.Д., Аськов В.Л., Добрынин С.Н. Переносная автоматизированная система сброса, хранения и обработки [данных] натуральных наблюдений для оценки безопасности эксплуатации гидроузлов. //ГТС, 1995, 2, с. 20-21.
23. Дубовик Л.Я., Штенгель В.Г. Неразрушающие методы контроля как составная часть диагностики гидротехнических сооружений. //ГТС, 1995, 2, с.28-29.
24. Василевский А.Г., Серков В.С., Добрынин С.Н., Тихонова Т.С. Автоматизированная система информационно-аналитического обеспечения надежности и безопасности энергетических объектов. //ГТС, 1995, 3, с.27-32.
25. Алешин А.С., Жигалин А.Д., Каганов Г.М., Волков В.И., Румянцев И.С. Опыт использования геофизических методов при реконструкции гидротехнических сооружений в городах. //ГТС, 1995, 5, с.16-19.
26. Хейфиц В.З. Оперативный инструментальный контроль - залог безопасности плотин. //ГТС, 1995, 5, с.19-22.
27. Цехановский К.Р., Войтенко В.Б. Датчики и приборы контроля вибрации и пульсации давления для систем технической диагностики энергетических агрегатов. //ГТС, 1995, 7, с.23-25.
28. Болтунов В.А. Биофизическое профилирование гидротехнических сооружений. //ГТС, 1995, 10, с.48-50.
29. Кассирова Н.А., Скворцова А.Е., Татарникова Е.Г. Метод натуральных наблюдений за работой подземных сооружений. //ГТС, 1996, 1, с.10-15.
30. Лобач А.А., Блинова И.Ф., Магрук В.И., Родионов В.Б. Компьютеризация надзора за состоянием сооружений Загорской ГАЭС. //ГТС, 1996, 4, с. 41-44.
31. Василевский А.Г., Добрынин С.Н., Тихонова Т.С., Шульман С.Г. Комплекс банков данных информационно-аналитического обеспечения натуральных наблюдений на гидроузле. //ГТС, 1996, 4, с.44-47.
32. Заградский И.И. Дисперсионный анализ показаний датчиков ГТС. //ГТС, 1996, 9, с.6-10.
33. Болтунов В.А., Болтунов В.В. Поиск геопатогенных зон: биолокация и геофизика. //ГТС, 1996, 7, с.46-52.
34. Романов А.А., Радкевич В.Б., Фрадкин Б.В., Коган Е.А., Бердичевский-Г.Ю., Поляк Л.Е. Компьютерная диагностическая система контроля за состоянием сооружений Волжской ГЭС имени В.И. Ленина. //ГТС, 1996, 9, с.25-30

35. Атрашенко С.Л., Заславский С.В. Система хранения и обработки данных натурных наблюдений. //ГТС, 1996, 10, с.54-56.
36. Кассирова Н.А., Скворцова А.Е., Татарникова Е.Г. Метод контроля за развитием давления горного массива на подземные конструкции без установки контрольно-измерительной аппаратуры на контакте бетон - скала. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.231, с.446-452.
37. Пехтин В.А. О проектах контрольно-измерительной аппаратуры в гидротехнических сооружениях. //ГТС, 1997, 2, с.52-53.
38. Болтунов В.А., Болтунов В.В., Демян А.А., Сергейчук Н.П. Опыт применения биолокации на водохозяйственных объектах. //Мелиорация и водное хозяйство, 1997, 4, с.36-39.
39. Василевский А.Г., Добрынин С.Н., Зотов В.М., Тихонова Т.С. Информационно-аналитическая система данных обследования гидротехнических сооружений. //ГТС, 1998, 5, с.1-3.
40. Бырин В.Н. Акустикоэмиссионный метод технического диагностирования энергетических объектов. //ГТС, 1997, 7, с.18-20.
41. Волошин А.М., Шульдц Т.Е. Опыт создания автоматизированной системы наблюдений за гидротехническими сооружениями Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1998, 9, с.46-48.
42. Шахмаева Е.Ю. База данных для задач контроля и диагностики крупных ГТС. //ГТС, 1998, 9, с.48-51.
43. Болтунов В.А., Болтунов В.В. Биолокация в гидротехническом строительстве: прошлое, настоящее, будущее. //ГТС, 1997, 10, с.38-43.
44. Козлов О.В., Рудяк М.С. Опыт применения метода акустической эмиссии при строительстве гидротехнических туннелей. //ГТС, 1998, 1, с.17-19.
45. Сахаров Г.Г., Дружинин А.Ю. прибор для измерения динамических нагрузок с использованием струнных измерительных преобразователей. //ГТС, 1998, 2, с.39-40.
46. Макаров К.Н. Автоматизированная система прогнозирования береговых процессов в бесприливных морях. //ГТС, 1998, 5, с.27-30.
47. Булатов В.А., Пермьякова Л.С. Формирование контрольно-измерительного комплекса гидросооружений Саяно-Шушенской ГЭС в строительно-эксплуатационный период. //ГТС, 1998, 9, с.32-34.
48. Стефаненко Н.И. Опыт применения струнных систем в качестве измерителей горизонтальных смещений при наблюдениях за деформациями гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1998, 9, с.52-54.
49. Брайцев В.В., Зиновьев Р.К., Ковалов И.К., Красильников А.М., Северов А.П. Современные средства автоматизированного сбора информации о состоянии энергетических сооружений. //БЭС, 1998, вып.1, с.100-110.
50. Бердичевский Г.Ю., Воронцов Э.И., Чумичев Б.Д., Щербина В.И., Рогол М.Ф. Использование компьютерной информационно-диагностической системы мониторинга для оценки безопасного состояния сооружений гидроузлов. //Тр. Безопасность плотин, т.2, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с.1067-1071 (на англ. языке).

51. Магрук В.И., Родионов В.Б., Ординян Н.А., Мокрушин Е.К., Надточий В.М. Концептуальные особенности и перспективы развития информационных технологий на Загорской ГАЭС. //ГТС, 1999, 1, с.11-21.

VII. О НАБЛЮДЕНИЯХ, ОБСЛЕДОВАНИЯХ, МОНИТОРИНГЕ, КОНТРОЛЕ И ДИАГНОСТИКЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

1. Золотов Л.А., Царев А.И., Блинов И.Ф. Контроль надежности бетонных плотин при их строительстве и эксплуатации. //ГТС, 1990, 7, с.43-46.
2. Бронштейн В.И. Проектное обеспечение и натурный контроль за безопасностью состояния Ингурской арочной плотины. //ЭС, 1990, 4, с.6-11.
3. Дурчева В.Н., Крат Т.Ю. Выбор диагностических параметров контроля за работой бетонных плотин. //ЭС, 1990, 4, с.13-15.
4. Гордон Л.А., Цовикян Л.Х. Комплексная оценка напряженного состояния арочных плотин по данным измерений деформаций и перемещений. //ЭС, 1990, 4, с.16-17.
5. Александровская Э.К. О деформациях в контактной зоне плотины Саяно-Шушенской ГЭС. // Изв. ВНИИГ, 1990, т.222, с.3-7.
6. Старшинов С.Н., Уляшинский В.А., Васильева Г.А. Монолитность плотины Саяно-Шушенской ГЭС. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.222, 7-14.
7. Волков В.П., Александровская Э.К., Погребная Г.С. К вопросу контроля трещинообразования в плотине Саяно-Шушенской ГЭС. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.222, с.15-19.
8. Дубовик Л.Я., Долгов В.А. Об использовании термографических методов для диагностики гидротехнических сооружений. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.222, с.52-55.
9. Дурчева В.Н., Пучкова С.М. Монолитность бетонных плотин Братской и Усть-Илимской ГЭС в эксплуатационном режиме. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.222, с.21-27.
10. Дурчева В.Н., Крат Т.Ю., Шадрунова О.В. Напряженное и деформированное состояние Чиркейской плотины по данным натуральных измерений. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.222, с.27-31.
11. Погребная Г.С., Урахчин В.П. Натурные исследования плотины Миаглинской ГЭС при первоначальном наполнении водохранилища. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.222, с.38-44.
12. Радкевич Д.Б. О роли диагностического контроля в обеспечении безопасной эксплуатации гидросооружений. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.135, с.3-6.
13. Гальперин И.Р., Юлинов И.Ф., Лавров Б.А., Мирзак Е.М. Результаты наблюдений за напряженно-деформированным состоянием бетонной плотины Богучанской ГЭС в строительный период. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.135, с.30-40.
14. Гальперин И.Р., Царев А.И., Мирзак Е.М. Исследования напряженно-деформированного состояния фундаментных плит водоприем-

- ника и здания Кайшядорской ГЭС. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.135, с.40-47.
15. Царев А.И., Шехтер Е.М., Гальперина Л.П. Напряженно-деформированное состояние сооружений Загорской ГАЭС в строительный период. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.135, с.47-56.
16. Бердичевский Г.Ю. Оценка напряженно-деформированного состояния арочной плотины Ингурской ГЭС по результатам натуральных наблюдений. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.135, с.60-71.
17. Ронжин И.С., Каныгин Л.Е., Черненко В.Н. Программа и состав натуральных наблюдений за фильтрацией на Загорской ГАЭС. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.135, с.99-108.
18. Малаханов В.В. Техническая диагностика грунтовых плотин. //Библиотека гидротехника и гидроэнергетика, вып.97. Энергоатомиздат, М., 1990, 120 с.
19. Тягунов М.Г., Шахамаева Е.Ю. Метод построения прототипной экспертной системы контроля и диагностики гидротехнических сооружений ГЭС. //ГТС, 1991, 2, с.24-29.
20. Гордон Л.А., Волков В.П., Цовикян Л.Х. Техническая диагностика бетонных плотин. //ГТС, 1991, 2, с.38-42.
21. Шушарин А.Д., Пермьякова Л.С. Результаты натуральных наблюдений в контактной зоне плотины и основания Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1991, 10, с.44-49.
22. Глазунов Е.М. Осуществление оперативного контроля за состоянием крепей и массива в процессе проходки подземных выработок. //Тр. Гидропроекта, 1991, вып.146, с.38-42.
23. Карлсон А.А., Кондратьев В.И. Деформации плотины Саяно-Шушенской ГЭС - результаты и проблемы измерений. //ГТС, 1992, 1, с.36-39.
24. Буханов В.В., Гавриленко Т.В., Уляшинский В.А., Шабанов В.Н. Динамика перемещений блоков крепления дна водобойного колодца Саяно-Шушенской ГЭС. //ЭС, 1992, 5, с.55-58.
25. Бердичевский Г.Ю., Бронштейн В.И., Фрадкин Б.В. Использование математической модели в целях интерпретации данных натуральных наблюдений за арочной плотинной Ингури ГЭС. //ГТС, 1992, 10, с.28-40.
26. Карлин С.И., Ведмидь Н.Т. Натурные наблюдения за состоянием сооружений Днепродзержинского шлюза. //ГТС, 1992, 11, с. 28-30.
27. Гавриленко Т.В. К оценке эксплуатационной надежности бетонного крепления водобоя на основе диагностической информации. //Изв. ВНИИГ, 1993, т.227, с.90-94.
28. Василевский А.Г. Натурные исследования и диагностика гидротехнических сооружений. //ГТС, 1993, 12, с.5-8.
29. Брызгалов В.И., Стафиевский В.А. Организация контроля за состоянием сооружений Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1993, 12, с.30-33.
30. Седых Ю.Р., Филонидов А.М., Даниленко С.Л. Инструментальные обследования бетонных сооружений Цимлянкой, Кегумской и Плявиньской ГЭС. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.152, с.5-11.

31. Ивашенко И.Н., Комельков Л.В., Максимов Г.И. Инженерный анализ надежности волнозащитных креплений Цимлянской грунтовой плотины. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.152, с.19-26.
32. Блинов И.Ф. Результаты контрольных наблюдений за напряженно-деформированным состоянием компенсаторных секций трубопроводов Загорской ГАЭС. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.152, с.31-37.
33. Киладзе А.В., Царев А.И. Напряженно-деформированное состояние стенки Плявиньского гидроузла [по данным многолетних натуральных наблюдений]. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.152, с.38-46.
34. Лобач А.А. О методах диагностики состояния высокой массивно-контрфорсной плотины. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.152, с.62-69.
35. Царев А.И., Ивашенко И.Н., Малаханов В.В., Блинов И.Ф. Критерии безопасности гидротехнических сооружений как основа контроля их состояния. //ГТС, 1994, 1, с.9-14.
36. Петров Ю.А. Организация контроля за безопасностью гидротехнических сооружений Волжской ГЭС имени В.И. Ленина. //ГТС, 1994, 1, с.23-25.
37. Калустян Э.С. Обеспечение надежности бетонных плотин на основе диагностики скальных оснований. //ГТС, 1994, 5, с.20-25.
38. Смирнов Е.А., Кулешов А.П., Быкадоров А.А., Блинов И.Ф., Золотов Л.А. Организация мониторинга на сооружениях Загорской ГАЭС. //ГТС, 1994, 7, с.33-36.
39. Александровская Э.К. Оценка состояния длительно эксплуатируемых бетонных плотин при отсутствии на них КИА или ее ограничении. //ГТС, 1995, 1, с.36-40.
40. Соболенко Н.А., Тягунов М.Г., Хоанг К.Т. Данг, Шкурин А.Н. Прототипная экспертная оценка диагностики технического состояния оборудования электростанций. //ГТС, 1995, 3, с.32-37.
41. Кузнецов В.С., Войнович А.П., Мастрошилина Т.В., Крупин В.А., Булатов С.Н. Состояние сооружений Колымской ГЭС по данным натуральных наблюдений. //ГТС, 1995, 4, с.1-7.
42. Серков В.С., Зотов В.М., Байчиков Л.Н. О некоторых результатах обследования гидротехнических сооружений электростанций РАО "ЕЭС России" в первом полугодии 1995 г. //ГТС, 1995, 11, с.1-2.
43. Василевский А.Г. Некоторые результаты обследования гидротехнических сооружений каскада Сунских ГЭС АО «Карелэнерго». //ГТС, 1995, 11, с.3.
44. Зотов В.М., Гордон М.С., Байчиков Л.Н. Некоторые результаты обследования гидротехнических сооружений Ириклинской ГЭС АО «Оренбургэнерго». //ГТС, 1995, 11, с.4.
45. Кассирова Н.А., Скворцова А.Е., Татарникова Е.Г. Метод натуральных наблюдений за работой подземных сооружений. //ГТС, 1996, 1, с.10-15.

46. Василевский А.Г., Бондаревский Ю.П. Результаты обследования состояния гидротехнических сооружений Зейской ГЭС. //ГТС, 1996, 1, с.28.
47. Щербина В.И., Пухов И.Е., Плисс М.З., Байчиков Л.Н. Некоторые результаты обследований гидротехнических сооружений Дубосарского гидроузла после 40 лет эксплуатации. //ГТС, 1996, 1, с.41.
48. Александровская Э.К. Комиссия по обследованию состояния гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской и Майнской ГЭС. //ГТС, 1996, 2, с.42.
49. Василевский А.Г. Отечественный и зарубежный опыт контроля за безопасностью напорных гидротехнических сооружений. //ГТС, 1996, 3, с.4-7.
50. Зотов В.М., Зарубин В.И., Байчиков Л.Н. Обследование гидротехнических сооружений электростанций РАО «ЕЭС России» в 1995 году. //ГТС, 1996, 3, с.7-10.
51. Гольдин А.Л., Мгалобелов Ю.Б., Савич И.А., Судаков В.Б., Брайцев В.В. О состоянии арочной плотины Ингури ГЭС и ее основания: по материалам обследования в 1995г. //ГТС, 1996, 9, с.39-42.
52. Ременяк М.Б. Некоторые вопросы интерпретации данных натуральных наблюдений в основании Ингурской арочной плотины. //ГТС, 1996, 12, с.11-15.
53. Карлсон А.А., Прейсс И.О., Болманис А.И. Мониторинг сооружений Плявиньской ГЭС геодезическими методами. //ГТС, 1996, 12, с.35-39.
54. Эйдельман С.Я. Натурные наблюдения на бетонных сооружениях Каховского гидроузла. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.335-342 (см. также ГТС, 1982, 12, с.46-49).
55. Блинков В.В. Натурные исследования бетонных сооружений на Бухтарминской ГЭС. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.351-359.
56. Александровская Э.К., Урахчин В.П. Прогнозирование на период эксплуатации по данным натуральных наблюдений перемещений бетонных гравитационных плотин на скальных основаниях. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.359-368 (см. также ГТС, 1974, 5, с.19-24).
57. Дурчева В.Н., Пучкова С.М. Оценка состояния бетонной плотины Братской ГЭС по результатам многолетних натуральных исследований. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.392-402 (см. также ГТС, 1993, 11, с.35-40).
58. Блинов И.Ф., Каныгин Л.Е., Черненко В.Н. Система оперативного контроля и некоторые особенности состояния сооружений Загорской ГАЭС. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.413-419.
59. Папикян М.Р. Опыт многолетних инструментальных наблюдений осадок Шамбской плотины [в Армении]. //ГТС, 1997, 3, с.35-36.
60. Иогансон М.Н., Рыбак И.О. Результаты обследования гидротехнических сооружений и механического оборудования Невинномысской ГРЭС. //ГТС, 1997, 7, с.11-12.

61. Байчиков Л.Н., Блинов И.Ф., Перельштейн ЛИ Результаты обследования гидротехнических сооружений Усть-Хантайской ГЭС. //ГТС, 1997, 10, с.13-15.
62. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Шакарс Н.Э. Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния левого блока здания Плявиньской ГЭС с учетом данных натуральных наблюдений. //ГТС, 1998, 2, с.47-53.
63. Курления М.В., Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Об одном подходе к оценке и контролю напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений. //ГТС, 1998, 2, с.54-56.
64. Кушнер С.Г. Осадки русловой земляной плотины Днепродзержинской ГЭС. //ГТС, 1998, 3, с.46-49.
65. Брызгалов В.И., Ключач А.А. Опыт работы лаборатории технической диагностики Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1998, 9, с.34-39.
66. Спиридонов Ю.В. Комплекс геодезических наблюдений за общими перемещениями плотины Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1998, 9, с.55-58.
67. Блинов И.Ф., Царев А.И. Натурные наблюдения как средство обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. //БЭС, 1998, вып.1, с.53-59.
68. Носова О.Н., Александровская Э.К. К вопросу контроля за надежностью и безопасностью эксплуатируемых гидротехнических сооружений. //ГТС, 1999, 1, с.21-26.
69. Александровская Э.К., Стафиевский В.А., Комаров А.П. Результаты обследования гидротехнических сооружений Новосибирской ГЭС. //ГТС, 1999, 3, с.29-31.
70. Похабов В.И., Бессалаев А.П. Обследование и анализ состояния водосливной бетонной плотины водохранилища Березовской ГРЭС-1. //ГТС, 1999, 3, с.32.
71. Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Некоторые особенности развития деформационных процессов при эксплуатации гидросооружений Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1999, 3, с.38-41.
72. Джурик В.И., Басов А.Д., Дренков А.Ф., Юшкин В.И. Режимные геофизические наблюдения за состоянием земляной плотины Иркутской ГЭС. //ГТС, 1999, 5, с.53-57.

**VIII. ОБ АВАРИЯХ, ПОВРЕЖДЕНИЯХ И РЕКОНСТРУКЦИИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ,
ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ
ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ**

1. Хрисанов Н.И. Первоочередные шаги повышения надежности гидроэнергетических и водохозяйственных объектов. //ГТС, 1990, 6, с.33-34.
2. Василевский А.Г., Серков В.С., Дмитрухин А.Ф. Проблемы эффективной эксплуатации гидроэлектростанций. //ГТС, 1990, 10, с.7-11.
3. Рубин О.Д. Характер и причины трещинообразования в стенках шлюзов канала имени Москвы. //ЭС, 1990, 11, с.54-56.

4. Иващенко И.Н., Диковинный С.В. Анализ опыта эксплуатации больших плотин. //Тр. Гидропоекта, 1990, вып.135, с.20-29.
5. Василевский А.Г. Перспективы исследований в области эксплуатации энергетических объектов. //ГТС, 1992, 6, с.3-4.
6. Ильюшин В.Ф., Крылова С.Н. Аварии в подземных водоводах и методы восстановления повреждений. //ГТС, 1993, 4, с.44-52.
7. Хлопенков П.Р. О физических особенностях работы и повышении надежности функционирования водосбросных плотин при "втором предельном состоянии" скального основания. //ГТС, 1994, 2, с.27-34.
8. Бендерский Л.Ф., Евликов А.А., Ступель Р.О., Брагинский Г.С., Соловьев В.В., Охрименко В.В. Взрыв помогает реконструкции гидроэлектростанций. //ГТС, 1994, 7, с.30-32.
9. Василевский А.Г., Стефанишин Д.В., Солнышков В.А., Шевченко Н.И. К вопросу о долговечности объектов гидроэнергетики и назначения оптимальных сроков их ремонта и реконструкции. //ГТС, 1995, 1, с.32-34.
10. Антонов С.С., Судаков В.Б., Караваев А.В. Критерии оценки ресурсов работоспособности стареющих бетонных плотин. //ГТС, 1995, 2, с.5-8.
11. Дурчева В.Н., Пучкова С.М. Основные причины, признаки и последствия старения бетонных плотин. //ГТС, 1995, 2, с.9-10.
12. Калустян Э.С. Уроки аварий бетонных плотин на скальных основаниях. //ГТС, 1995, 2, с.13-17.
13. Барабанова Е.А. Типичные случаи повреждений гидротехнических сооружений и меры по обеспечению их безопасности. //ГТС, 1995, 3, с.24-27.
14. Дерюгин Г.К., Наумов О.С. Разрушение плотины в связи с пропуском сбросных расходов. //ГТС, 1995, 7, с.30-33.
15. Осипов А.Д. Трещинообразование и ремонт на плотине Аппер-Силуотер (США). //ГТС, 1995, 7, с.44-45.
16. Фриштер Ю.И., Когодовский О.А. Аварии на сооружениях Колымской ГЭС в период строительства и временной эксплуатации. //ГТС, 1995, 10, с.27-34; 1995, 12, с.16-26.
17. Дурчева В.Н. Опасные повреждения и признаки старения бетонных плотин по данным натурных наблюдений. //ГТС, 1996, 3, с.10-13.
18. Гринвальд И.Я. Проектирование мероприятий по обеспечению надежности и безопасности гидротехнических сооружений ГЭС Колэнерго и Карелэнерго. //ГТС, 1996, 3, с.17-21.
19. Антипов А.Г. Опыт эксплуатации гидротехнических сооружений ГЭС Колэнерго. //ГТС, 1996, 3, с.21-25.
20. Джура В.А. Мероприятия, проводимые каскадом [Серебрянских] ГЭС по повышению надежности и безопасности гидротехнических сооружений. //ГТС, 1996, 3, с.25-30.
21. Серебрянников Н.И. Загорская ГАЭС - опыт эксплуатации и перспективы развития. //ГТС, 1996, 4, с.1-2.

22. Спицын В.Е. Опыт реконструкции сооружений и оборудования Нижнетуломской ГЭС. //ГТС, 1996, 5, с.32-36.
23. Стефанишин Д.В. Некоторые теоретические аспекты оценки старения гидротехнических сооружений. // ГТС, 1996, 9, с.21-24.
24. Золотов Л.А., Самарин В.Г. Взрыв плотины Перуча [на р.Цетина в Хорватии]. //ГТС, 1996, 9, с.49-52.
25. Александровский А.Ю., Григорьев Е.Г., Черненко Г.Ф., Пьяных Г.Л. Разработка рекомендаций по повышению эффективности эксплуатации Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС. //ГТС, 1996, 10, с.50-53.
26. Стоцкий А.Д., Боярский В.М. Реконструкция и модернизация действующих гидроэлектростанций. //ГТС, 1996, 11, с.5-7.
27. Векслер А.Б., Фисенко В.Ф. Нарушения крепления нижнего бьефа Воткинской ГЭС, возникшие в процессе эксплуатации. //ГТС, 1997, 2, с.33-36.
28. Калустян Э.С. Уроки аварий Киселевской и Тирлянской плотин. //ГТС, 1997, 4, с.48-50.
29. Александров В.П., Колосов М.А. реконструкция каменносброшенной плотины [Маткоженская плотина, входящая в состав напорного фронта шлюза 14 Беломорско-Балтийского канала]. //ГТС, 1997, 7, с.20-22.
30. Горбушина В.К. Воздействие оползневых процессов на строительство и эксплуатацию гидроэнергетических сооружений. //ГТС, 1997, 10, с.33-37.
31. Калустян Э.С. Разрушения и повреждения бетонных плотин на скальных основаниях. //Изд. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, СПб., 1997, 188с.
32. Шайтанов В.Я., Рыжов В.А., Юркевич Б.Н. Проблемы достройки ГЭС. //ГТС, 1998, 7, с.1-5.
33. Карнович В.Н., Василевский А.Г., Усачев И.Н., Трегуб Г.А., Доренберг В.М. Инженерные мероприятия по обеспечению надежности работы ПЭС в тяжелых ледовых условиях. //ГТС, 1998, 12, с.13-18.
34. Золотов А.Л., Клабуков В.М., Платов В.И. Гидроэнергетическое оборудование и безопасность объектов гидроэнергетики. //БЭС, 1998, вып.1, с.78-83.
35. Кудрявый В.В. О научном обеспечении безопасной эксплуатации энергетических сооружений. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.3-9.
36. Усачев И.Н. Безопасность эксплуатации приливных электростанций. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.100-108.
37. Зотов В.М., Платов В.И. Реконструкция и техническое перевооружение действующих гидроэлектростанций - основное направление в сохранении работоспособности ГЭС России на ближайшую перспективу. //ГТС, 1999, 1, с.2-10.

38. Малышев Л.И., Рассказов Л.Н., Солдатов П.В. Состояние плотины Курейской ГЭС и технические решения по ее ремонту. //ГТС, 1999, 1, с.31-36.

39. Богуш Б.Б., Лисин А.А. Опыт восстановления разрушенных бычков в зоне переменного уровня нижнего бьефа Саратовской ГЭС. //ГТС, 1999, 3, с.24-25.

40. Костыря Г.З., Перевалов А.Г., Павлов В.А. Опыт восстановления облицовки камеры рабочего колеса на Саратовской ГЭС. //ГТС, 1999, 3, с.26-28.

IX. О ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

1. Диковинный С.В. Зависимость аварийности гидротехнических сооружений от объема водохранилищ. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.185-189.

2. Мадгазин Р.Ж., Чукобаев М.В. Оценка устойчивости земляных водоподпорных сооружений при интенсивной сработке водохранилища Тюямуонского гидроузла. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.149, с.113-118.

3. Авакян А.Б., Полошкин А.А. Об оценке ущерба от наводнений. //ГТС, 1991, 4, с.4-8.

4. Диреева И.В., Хвостова Г.А., Кочетков А.И. Система комплексной автоматизации анализа и обработки гидрологической информации при расчетах. //Тр. Гидропроекта, 1991, вып.157, с.32-35.

5. Стефанишин Д.В. Оценка риска перелива воды через плотины. //Изв. ВНИИГ, 1991, т.224, с.76-82.

6. Асарин А.Е., Семенов В.М. Расчетные паводки и безопасность плотин [по материалам Международной комиссии по большим плотинам]. //ГТС, 1992, 8, с.55.

7. Данилевский А.А. Регулирование пропуска паводков в нижнем течении р. Миссисипи (США). // ГТС, 1992, 9, с.47-50.

8. Иванов Е.П., Ларионов А.Д. Об условиях современного подтопления г.Горького и прогнозе подтопления при подъеме уровня Чебоксарского водохранилища. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.151, с.62-72.

9. Асарин А.Е. Плотины и экстремальные паводки. //ГТС, 1993, 8, с.9-11.

10. Григорьева И.Л., Дебольский В.К. Критерий изменчивости гидрологического режима водных объектов. //ГТС, 1994, 7, с.3-7.

11. Данилевский А.А. Гидрологические проблемы Голландии и их решения. //ГТС, 1997, 12, с.49-60.

12. Мирцхулаева Ц.Е. Оценка частоты появления селей катастрофического характера. //ГТС, 1998, 5, с.19-26.

13. Асарин А.Е., Прудовский А.М., Родионов В.Б. Современные подходы к нормированию и оценке максимального речного стока. //БЭС, 1998, вып.1, с.83-91.

14. Историк Б.Л., Прудовский А.М., Школьников С.Я. Гидравлические аспекты прогноза условий прорыва напорного фронта гидроузлов. //БЭС, 1998, вып.1, с.91-100.

15. Асарин А.Е., Бестужева К.Н. О перебоях энергоотдачи гидроэлектростанций и страховании от энергетического дефицита. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.62-67.

16. Луначи М.Э., Онипченко Г.Ф., Родионов В.Б. Затворы системы «Гидроплюс» как фактор повышения безопасности и экономичности гидроузлов. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.89-99.

17. Асарин А.Е. Регулирование высоких и экстремальных паводков каскадом гидроузлов. //Тр. «Безопасность плотин», т.2, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с.1297-1300 (на англ. языке).

18. Куприянов В.П., Луначи М.Э., Прудовский А.М., Родионов В.Б. Некоторые вопросы применения «плавающих» элементов для пропуска экстремальных паводков. //Тр. «Безопасность плотин», т.2, А.А. Балкема, Роттердам, 1998, с.1429-1436 (на англ. языке).

19. Железняков Г.В., Писарев Ю.В. Сборники научных работ по гидравлике и инженерной гидрологии. //ГТС, 1999, 3, с.55-56.

Х. ПО СЕЙСМИКЕ, ГЕОДИНАМИКЕ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ

1. Кузин И.П. К вопросу о связи параметров сейсмических воздействий с балльностью. //ГТС, 1990, 2, с.30-34.

2. Абукиров А.Т. Влияние обратной засыпки на колебания зданий при сильных динамических воздействиях. // Изв. ВНИИГ, 1990, т.218, с.59-63.

3. Садович Т.А. Влияние внутреннего трения на поведение объектов различного назначения при сейсмических воздействиях. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.218, с.63-65.

4. Гордеева С.П. Задание волнового сейсмического воздействия методом потенциала. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.221, с.118-125.

5. Штильман В.Б. Оценка вероятности отказа затвора гидроемкости при сейсмическом воздействии. //Изв. ВНИИГ, 1990, т.221, с.138-144.

6. Кузин И.П. Об ускорениях для зон с интенсивностью сейсмических сотрясений 7-9 баллов, определенных на основе связи ускорений с балльностью. //Тр. Гидропоекта, 1990, вып.143, с.58-64.

7. Савич А.И., Ильин М.М., Якубов В.А., Юдина И.В. Геофизические критерии безопасной эксплуатации основания арочной плотины Ингури ГЭС. //Тр. Гидропоекта, 1990, вып.143, с.113-117.

8. Капцан А.Д., Крылов В.В. Безопасность работы технологического оборудования при землетрясениях. //ГТС, 1991, 2, с.34-37.

9. Родлер А.Ю. Вероятностная оценка сейсмостойкости свайных фундаментов при последовательных землетрясениях. //Изв. ВНИИГ, 1991, т.225, с.100-105.

10. **Каракровский М.В.** О падении случайной волны на границу грунтовой среды. //Изв. ВНИИГ, 1991, т.225, с.113-119.
11. **Хохлова Н.В.** К вопросу об определении напряженно-деформированного состояния арочных плотин от сейсмозодействий при расчете по спектральной методике. //Тр. Гидропроекта, 1991, вып.145, с.118-124.
12. **Грошев М.Е., Олимпиев Д.Н.** Об одном алгоритме оценки сейсмостойкости бетонных гидротехнических сооружений. //Тр. Гидропроекта, 1991, вып.145, с.151-157.
13. **Шаграй М.К.** К вопросу определения сейсмических нагрузок на плотины из грунтовых материалов. //Тр. Гидропроекта, 1991, вып.157, с.23-32.
14. **Марчук А.Н., Савич А.И.** Надежность высоких плотин с учетом геодинамических процессов. //ГТС, 1992, 11, с.1-4.
15. **Гордеева С.П.** Волновое сейсмическое воздействие и расчет подземного машинного зала Рогунской ГЭС. //ГТС, 1992, 12, с.33-38.
16. **Савич А.И.** Долговременные (режимные) геофизические наблюдения на участках крупного гидротехнического строительства. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.142, с.5-12.
17. **Абашидзе В.Г., Эмухвари Н.Д., Кереселидзе С.Б.** Основные результаты наклономерно-демографических наблюдений за геодинамическими процессами в районе Ингурской ГЭС. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.142, с.12-21.
18. **Матвеева Н.Ю., Першуткина А.М.** Временные вариации скоростей упругих волн в массиве скальных пород участка Худонской ГЭС. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.142, с.35-42.
19. **Коптев В.И., Козлов О.В.** Прогноз динамики горного давления на обделку шахт гидроагрегатов Днестровской ГАЭС на основе результатов комплекса сейсмоакустических исследований. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.142, с.57-72.
20. **Савич А.И., Бочкарева Т.Н.** Результаты использования сейсмоакустических методов для изучения процессов разгрузки массива в окрестностях подземного машзала Худони ГЭС. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.142, с. 73-84.
21. **Годзиковская А.А., Афанасьева И.И.** Проблемы использования записей слабых землетрясений для детального сейсморайонирования. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.151, с.53-61.
22. **Савич А.И.** Долговременные геофизические наблюдения на участках гидротехнического строительства. //ГТС, 1993, 3, с.8-13.
23. **Стром А.Л.** Оценка амплитуд сейсмических подвижек по тектоническим нарушениям в основаниях сооружений. //ГТС, 1993, 3, с.13-17.
24. **Кузин И.П., Савич А.И.** О вероятностном подходе к заданию сейсмических воздействий на сооружений. //ГТС, 1993, 3, с.17-19.

25. Никонов А.А. Возбужденная сейсмичность при заполнении водохранилищ. //ГТС, 1993, 3, с.20-24.
26. Марчук А.Н. О прогнозе землетрясений с помощью измерительных систем высоких плотин. //ГТС, 1993, 7, с.4-10.
27. Марчук А.Н., Савич А.И., Мальшев Л.И., Дурчева В.Н., Радкевич Д.Б. Геодинамические влияния на статистическую работу и безопасность плотин. //ГТС, 1993, 7, с.10-17.
28. Дурчева В.Н., Загрядский И.И. Флуктуации натуральных данных в качестве регистратора сейсмотектонической активности горных массивов, включающих бетонную плотину. //ГТС, 1993, 7, с.18-20.
29. Жиленьков В.Н., Билев А.Е. О проблеме создания суффозионно сейсмостойких грунтовых плотин. //Изв. ВНИИГ, 1993, т.227, с.30-34.
30. Гиблинская Е.Д., Финагенов О.М. Сейсмостойкость грунтовой плотины при наличии льдогрунтового динамического гасителя колебаний (ДГК). //Изв. ВНИИГ, 1993, т.227, с.34-38.
31. Львов А.В. Некоторые задачи динамики и сейсмостойкости зданий ГЭС, ГАЭС и насосных станций. //Изв. ВНИИГ, 1993, т.227, с.55-62.
32. Езерский М.Г. Применение геофизических методов для решения задач геомеханики в гидротехническом подземном строительстве. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.150, с.109-117.
33. Олимпиев Д.Н., Шишолоина Е.В. Оценка сейсмостойкости грунтовой плотины с наклонным ядром. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.154, с.81-88.
34. Капцан А.Д., Горбов В.А., Хачатурьян Н.С. Исследование сейсмостойкости подземного машзала на физических моделях. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.154, с.111-119.
35. Марчук А.Н. Исследования по предсказанию землетрясений в связи с безопасностью плотин в России. //Журнал «Water Power and Dam Construction» (Великобритания), 1993, т.45, 3, с.37-39. (на англ. языке).
36. Марчук А.Н., Умралин К.Б., Молдобеков Ж.И., Александровская Э.К., Шайхутдинова В.К., Кимчибекова М.Л. Реакция плотин Токтогульской и Курпсайской ГЭС на многократные землетрясения. //ГТС, 1994, 5, с.26-30.
37. Марчук А.Н., Мисриханов М.Ш., Абакаров А.Р., Ганибалов Ш.М., Крат Т.Ю. О влиянии геодинамики на надежность плотины Чиркейской ГЭС. //ГТС, 1994, 5, с.30-35.
38. Никонов А.А. Сильные землетрясения в районе Краснодарского водохранилища - новые оценки. //ГТС, 1994, 5, с.35-38.
39. Байчиков Л.Н., Калицева И.С., Серков В.С., Шейнин И.С. Типовой динамический паспорт гидротехнических сооружений электростанций. //ГТС, 1994, 6, с.3-6.
40. Шейнин И.С., Калицева И.С. О рекомендациях по организации динамических тестовых испытаний гидротехнических сооружений электростанций. //ГТС, 1994, 6, с.7-11.

41. Марчук А.Н. О геодинамическом влиянии на состояние высоких бетонных плотин. // ГТС, 1994, 10, с.36-37.
42. Смирнов С.Б. Обоснование причин разрушения «сейсмостойких» зданий и эффективные меры их сейсмозащиты. //ЭС, 1994, 4, с.68-70.
43. Марчук А.Н., Радкевич Д.Б., Золотов Л.А. Геодинамические влияния больших плотин. //Журнал «Hydropower and Dams» (Великобритания), 1994, т.1, 6, с.94-98 (на англ. языке).
44. Храпков А.А., Иванов И.В., Левелев А.Г., Дашевская Е.Н., Соловцов Д.Г., Яковлев И.В. Опытнo-промышленный образец комплекса инженерно-сейсмометрических наблюдений. //ГТС, 1995, 2, с.21-28.
45. Марчук А.Н., Дудченко Л.Н., Болгов В.В., Соловьев Ю.В., Ивашкина Н.М., Вяткина А.В. О состоянии плотины Зейской ГЭС с учетом геодинамического влияния. //ГТС, 1995, 5, с.8-15.
46. Иванов И.В., Дашевская Е.Н., Левелев А.Г., Соловцов Д.Г., Яковлев И.В., Храпков А.А. Результаты лабораторных испытаний опытно-промышленного образца комплекса инженерно-сейсмометрических наблюдений (КИСН). //ГТС, 1995, 7, с.27-30.
47. Марчук А.Н., Помышкина С.В., Крат Т.Ю. Проблемы геодинамического влияния на большие плотины. //ГТС, 1995, 7, с.6-12.
48. Марчук А.Н. Прогноз землетрясений в районе Саяно-Шушенской ГЭС с помощью измерительных систем плотины. //ГТС, 1995, 8, с.34-38.
49. Савич А.И., Марчук А.Н., Ильин М.М. О службе геодинамических наблюдений электроэнергетической отрасли Минтопэнерго РФ. //ГТС, 1995, 11, с.43-46.
50. Положение о Службе геодинамических наблюдений электроэнергетической отрасли: РД 34.04.59. //РАО «ЕЭС России», М., 1995, 11с.
51. Судаков В.Б., Марчук А.Н., Караваев А.В. Современные конструктивно-технологические решения для сейсмостойких гравитационных плотин. //ГТС, 1996, 2, с.45-51.
52. Шуйфер М.И. Новый расчетный метод обеспечения сейсмобезопасности взрывов вблизи охраняемых объектов. //ГТС, 1996, 8, с.62-63.
53. Годзиковская А.А., Стром А.Л. Специфика сейсмологических исследований в районах гидротехнических сооружений. //ГТС, 1996, 12, с.5-11.
54. Шейнин И.С. Воздушная завеса для защиты гидротехнических сооружений от сейсмических и взрывных воздействий. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.188-200 (см. также ГТС, 1992, 10, с.1-6).
55. Савинов О.А., Уздин А.М. О некоторых особенностях механического взаимодействия сооружения с его основанием при землетрясении. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.233-243 (см. также Изв. ВНИИГ, 1974, т.106, с.119-125).
56. Аськов В.Л., Давиденко Н.Д., Кельман Л.Я., Монахенко Д.В., Шульман С.Г. Исследования крупномасштабной модели арочной

- плотины на акселерограмму землетрясения. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.244-252.
57. Грошев М.Е., Рубин О.Д. О некоторых проблемах, возникающих при анализе и обосновании сейсмостойкости бетонных плотин. //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.423-433.
58. Бронштейн В.И., Савич А.И. Принципы обоснования сейсмостойкости высоких плотин (на примере Ингурской арочной плотины). //Изв. ВНИИГ, 1996, т.232, ч.II, с.460-483.
59. Марчук А.Н., Славина Л.Б., Помыткина С.В. Опыт оперативного прогнозирования землетрясений в районе расположения ГЭС Сулакского каскада. //ГТС, 1997, 9, с.42-46.
60. Страхов В.Н., Марчук А.Н. Странный вывод одного технического отчета [о комплексной оценке сейсмостойкости Зейской ГЭС]. //ГТС, 1997, 11, с.13.
61. Соколов В.Ю. Оценка реакции аллювиальных отложений каньона на сейсмические воздействия на примере Зарамагской ГЭС на р.Ардоне. //ГТС, 1997, 11, с.25-31.
62. Руководство по геодинамическим наблюдениям и исследованиям для объектов топливно-энергетического комплекса. //Минтопэнерго РФ, М., 1997, 123с.
63. Соколов В.Ю. К методике сейсмического микрорайонирования площадок гидротехнических сооружений (расчетный метод). //ГТС, 1998, 2, с.25-29.
64. Марчук А.Н., Ткачева Г.Н. Опыт применения автоматизированных информационно-измерительных технологий при геодезическом контроле высоких плотин. //ГТС, 1998, 2, с.41-44.
65. Марчук А.Н., Грек М.А. О прогнозе землетрясений в районе створа Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1998, 3, с.30-35.
66. Дудченко Л.Н. Сейсмологический мониторинг района Зейской гидроэлектростанции. //ГТС, 1998, 4, с.36-40.
67. Савич А.И., Бронштейн В.И. Ответ на заметку «Странный вывод одного технического отчета». //ГТС, 1998, 8, с.50. (О комплексной оценке сейсмостойкости Зейской ГЭС, см. ГТС, 1997, 11, с.13).
68. Булатов В.А., Дергачев А.А. Задачи геофизического и гидрогеологического мониторинга и некоторые результаты наблюдений на геодинамическом полигоне Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1998, 9, с.27-32.
69. Школа-семинар «Мероприятия по повышению сейсмостойкости и геодинамической безопасности энергообъектов отрасли» [Москва, 9-10 декабря 1997г.]. //ГТС, 1998, 10, с.12-14.
70. Новоженин В.Д., Бронштейн В.И. Сейсмический риск и мероприятия по повышению сейсмостойкости подпорных гидротехнических сооружений. //ГТС, 1998, 10, с.14-22.
71. Савич А.И. Актуальные проблемы повышения сейсмостойкости и геодинамической безопасности электроэнергетических объектов.

Нормативные документы, регламентирующие работу по обеспечению их сейсмостойкости и безопасности. //ГТС, 1998, 10, с.23-24.

72. Кулаков А.М., Мурашко Н.В. Повреждения оборудования и сооружений электросетевых объектов при землетрясениях и мероприятия по повышению их сейсмостойкости. //ГТС, 1998, 10, с.24-25.

73. Осоловский В.П., Соболев Н.И. Повреждения сооружений тепловых электростанций при землетрясениях и мероприятия по повышению их сейсмостойкости. //ГТС, 1998, 10, с.25-26.

74. Марчук А.Н. Влияние разрушительного землетрясения в г.Кобе на ближайшие плотины (по материалам специального эссе Японского национального комитета по большим плотинам). //ГТС, 1998, 10, с.55-56.

75. Савич А.И., Ильин М.М., Степанов В.В. Геодинамические процессы на участках крупных гидроузлов. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.163-176.

76. Бронштейн В.И., Грошев М.Е., Дудченко Л.Н., Савич А.И. Численные исследования сейсмостойкости плотины Зейской ГЭС. //ГТС, 1999, 2, с.6-12.

77. Количко А.В. К вопросу о предвестниках землетрясений. //ГТС, 1999, 2, с.54-55.

78. Финагенов О.М., Шульман С.Г., Лучина В.К. Оценка надежности дамбы хвостохранилища при землетрясении. //ГТС, 1999, 3, с.34-37.

79. Оржаховский М.Л., Покровский В.Н. Вопросы стандартизации требований и методов испытаний сейсмостойкости технических изделий. //ГТС, 1999, 4, с.55-56.

80. Рассказов Л.Н., Бестужева А.С., Абарин А.М. Стена в грунте: напряжения при сейсмических воздействиях, плоская и пространственная задачи. //ГТС, 1999, 6, с.44-51.

XI. ПО ЭКОЛОГИЧЕСКИМ, ПРИРОДООХРАННЫМ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ АСПЕКТАМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

1. Елаховский С.Б. Водохранилища ГЭС и рекреация. //ГТС, 1990, 1, с.36-39.

2. Кусковский В.С., Тржцинский Ю.Б. Влияние сибирских водохранилищ на окружающую среду. //ГТС, 1990, 2, с.16-17.

3. Алтунин В.С. Экология и гидравлика будущего. //ГТС, 1990, 3, с.1-5.

4. Хрисанов Н.И., Керро Н.Н., Кольник Г.А. Комплексная экспертная оценка экологических последствий строительства гидроэнергетических объектов. //ГТС, 1990, 3, с.5-9.

5. Василевский А.Г. Экологические проблемы гидротермики ГЭС. //ГТС, 1990, 3, с.13-15.

6. Василевский А.Г., Солнышков В.А., Шульман С.Г. Современное состояние оценки технической и экологической надежности

- гидротехнических объектов. //ГТС, 1990, 3, с.49-50. (Отклик на статью Ц.Е. Мирцхулавы «О дальнейшем развитии теории надежности гидротехнических сооружений», опубликованную в ГТС 3 за 1989 г., с.39-41).
7. Золотов Л.А. Гидротехническое строительство и окружающая среда (по материалам 16-го конгресса Международной комиссии по большим плотинам). //ГТС, 1990, 3, с.52-54.
 8. Утверждение концепции охраны окружающей среды на предприятиях отрасли. //ГТС, 1990, 4, с.50-52.
 9. Шапиро Л.Н. Водоохранилища, их комплексное использование и воздействие на окружающую среду. //ГТС, 1990, 6, с.57-59.
 10. Хрисанов Н.И., Каюков Г.А., Каялин И.В. Социально-экологический анализ состояния гидроэнергетических объектов на Волго-Балтийском водном пути им. В.И. Ленина. //ГТС, 1990, 9, с.18-20.
 11. Федоров М.П. Экологическая безопасность гидроэнергетических объектов нового поколения. //ГТС, 1990, 10, с.27-29.
 12. Мурашко А.И., Коваленко Э.П., Правошинский Н.А. Гидравлические методы защиты водных экосистем малых рек. //ГТС, 1990, 10, с.30-33.
 13. Кутырин И.М. Об экологических проблемах в странах мира. //ГТС, 1990, 11, с.11-12.
 14. Классон М.И. Некоторые проблемы экологии в гидроэнергетике. //ЭС, 1990, 8, с.15-18.
 15. Махия А.П. Экологический мониторинг гидроэнергетических водохранилищ - проблемы, задачи и методы исследований. //ЭС, 1990, 9, с.5-11.
 16. Данилевский А.А. Электроэнергетика и окружающая среда в Соединенных Штатах Америки. //ЭС, 1990, 11, с.72-74.
 17. Махия А.П. Экологический мониторинг водохранилищ. Проблемы, задачи и пакет программ для исследований. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.143, с.167-183.
 18. Михайлов Л.П. Вклад Гидропроекта в гидроэнергетику и природоохранные мероприятия. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.3-4.
 19. Новоженин В.Д. Экологическое и социально-экономическое обоснование проектов. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.5-13.
 20. Золотов Л.А., Успенский С.М. Совершенствование постановки исследований по научному обоснованию природоохранных мероприятий при проектировании гидроэнергетических объектов. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.24-32.
 21. Каякин В.В., Парабучев И.А. Основы экологизации проектно-изыскательских работ для решения гидроэнергетических проблем. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.33-45.

22. Колканов Ю.В., Троицкий А.В. Организация эксплуатации водохранилищ в современных условиях. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.57-62.
23. Неминский М.Л. О влиянии водохранилищ Волжско-Камского каскада на окружающую среду. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.62-71.
24. Осадчук В.А., Севастьянов В.И., Ландау Ю.А. Особенности экологического обоснования проекта гидроэнергетических объектов Южно-Украинского энергокомплекса. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.72-77.
25. Салтанкин В.П. Проблемы рационального природопользования при создании и эксплуатации водохранилищ. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.81-91.
26. Воинов А.А., Успенский С.М., Чевелев К.В. Разработка методологии экологической оценки проектируемых водохранилищ. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.113-129.
27. Сергеев И.П., Биянов Г.Ф., Мальшев М.П., Романовский Н.Н., Кривоногова Н.Ф. Гидротехническое строительство на Крайнем Севере и проблемы окружающей среды. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.144, с.130-138.
28. Бейлинсон М.Е., Количко А.В., Шерман С.М. Изменение экологической обстановки в зоне Нурекского водохранилища за 10 лет эксплуатации. //Тр. Гидропроекта, 1990, вып.149, с.22-27.
29. Новоженин В.Д. Экологическое и социально-экономическое обоснование проектов. //ГТС, 1991, 1, с.8-11.
30. Тюпкин Ю.С. Международное десятилетие по уменьшению опасности стихийных бедствий. //ГТС, 1991, 2, с.18-19.
31. Гогоберидзе М.И. Методика организации комплексной экспертизы хозяйственных объектов. //ГТС, 1991, 7, с.41-45.
32. Алтунин В.С., Шевченко О.Б. Экологические аспекты водного хозяйства (о кн.: Нежиховский Р.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. - Л.: Гидрометеониздат, 1990, 229 с.). //ГТС, 1991, 7, с.51-52.
33. Авакян Л.Б. Народнохозяйственные и экологические последствия спуска водохранилищ. //ГТС, 1991, 8, с.3-8.
34. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И., Кудряшева И.Г. Анализ экологических последствий от воздействия ГЭС (по фактическим данным). //ГТС, 1991, 8, с.10-12.
35. Беляков А.А. Гидротехника и экология античного мира. //ГТС, 1991, 8, с.46-51.
36. Гусев В.П. Природоохранные мероприятия в условиях мелиоративной деятельности в бассейнах рек. //ГТС, 1991, 11, с.25-27.
37. Кузьмин С.А., Можевитинов А.Л. Вопросы экологии в проектах гидротехнических сооружений. //ГТС, 1991, 11, с.27-28.

38. **Парабучев И.А., Каякин В.В.** Решение вопросов экологии в процессе проектно-изыскательских работ. //ЭС, 1991, 4, с.27-30.
39. **Бржезьянский С.Э., Бусаров В.Н.** Экологические проблемы при развитии гидроэнергетики. //ЭС, 1991, 6, с.2-5.
40. **Шапар А.К., Бейлинсон М.Е.** Методы системного обоснования социально-экологической эффективности строительства энергетических объектов. //ЭС, 1991, 6, с.5-9.
41. **Горяинова И.Н., Родман Л.С., Чамова Н.М.** Задачи и организация мониторинга пойменных земель в условиях зарегулированного стока рек. //ЭС, 1991, 6, с.9-12.
42. **Классон М.И.** Экономическая оценка природных ресурсов, затрагиваемых гидростроительством, в США. //ЭС, 1991, 9, с.59-62.
43. **Мирихулава Ц.Е.** О современных проблемах оценки показателей экологической надежности водных объектов. //Изв. ВНИИГ, 1991, т.225, с.3-12.
44. **Широков В.М., Лопух П.С.** Природно-экологические принципы охраны малых водохранилищ. //Тр. Гидропроекта, 1991, вып.147, с.116-122.
45. **Штефан Ионеску.** Плотины и окружающая среда. //ГТС, 1992, 3, с.41-44.
46. **Ион Текуч.** Водоохранилища и их влияние на окружающую среду. //ГТС, 1992, 3, с.44-47.
47. **Дан Стематиу, Раду Дробот.** Экологические соображения при проектировании гидротехнических сооружений. //ГТС, 1992, 3, с.47-49.
48. **Вотруба Л., Патера А.** К экологическому обоснованию гидроэнергетических объектов. //ГТС, 1992, 3, с.50-51.
49. **Печенкин М.В.** Экологические аспекты возведения и эксплуатации гидросооружений энергетических объектов. //ГТС, 1992, 6, с.12-15.
50. **Беркович К.М., Чалов Р.С.** Экологическое русловедение: объект и проблемы исследований. //ГТС, 1992, 12, с.4-7.
51. **Малик Л.К.** Экологические аспекты концепции развития ГТС. //ЭС, 1992, 1, с.32-40.
52. **Коронкевич Н.И., Малик Л.К.** Основные подходы к географо-экономическому прогнозированию влияния ГТС на природную среду. //ЭС, 1992, 6, с.39-48.
53. **Бржезьянский С.Э., Бусаров В.Н.** Воздействие изменения климата на развитие и функционирование гидроэнергетики. //ЭС, 1992, 9, с.14-16.
54. **Парабучев И.А.** Мониторинг воздействия окружающей среды и гидротехнических сооружений при строительстве и эксплуатации. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.151, с.5-19.
55. **Трусов Д.В.** Использование методов дистанционного зондирования при оценке взаимодействия водохранилищ с окружающей средой. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.151, с.37-40.

56. Кухтий С.В. Обоснование изыскательскими материалами природоохранных мероприятий в проектах гидроэнергетических сооружений. //Тр. Гидропроекта, 1992, вып.151, с.41-53.
57. Каякин В.В., Мулина А.В., Новожилов А.П. Оценка воздействия Крапивинского гидроузла на окружающую среду. //ГТС, 1993, 2, с.42-46.
58. Каякин В.В., Мулина А.В. Социально-экологический мониторинг при гидротехническом строительстве. //ГТС, 1993, 3, с.2-8.
59. Петров Б.В., Синиченко Е.К., Рабкова Е.К. Влияние инженерной и хозяйственной деятельности на экологическую обстановку в речных бассейнах. //ГТС, 1993, 3, с.47-48.
60. Вишневский В.И. Экологический попуск и его реализация на Днестре. // ГТС, 1993, 3, с.49-52.
61. Хрисанов Н.М. Методические подходы к оценке воздействия энергетических объектов на ландшафты. //ГТС, 1993, 4, с.14-18.
62. Алиев Т.А., Картвелишвили Л.Н. Принципы оценки экологической надежности оросительных систем. // ГТС, 1993, 5, с.37-41.
63. Алиев Т.А., Картвелишвили Л.Н., Титов В.А. Методика оценки экологической надежности оросительных систем. //ГТС, 1993, 6, с.32-38.
64. Васильев О.Ф., Сухенко С.О. Об экологическом риске при создании Катунского водохранилища в связи с наличием ртутных аномалий на площади водосборного бассейна. //ГТС, 1993, 10, с.9-11.
65. Каякин В.В., Мулина А.В., Дмитриева И.Л. Уроки экспертизы проекта Катунской ГЭС. //ГТС, 1993, 10, с.12-19.
66. Ширинский А.Ф. Новые технические средства адаптации энергетических систем к природным условиям. //ГТС, 1993, 11, с.1-5.
67. Ивашинов Д.А., Стефанишин Д.В., Векслер А.Б. Экологические и социально-демографические последствия гидротехнического строительства (проблемы безопасности и риска). //ГТС, 1993, 12, с.8-13.
68. Кухтий С.В. Техногенез геологической среды зоны влияния ГАЭС и его экологические аспекты. //Тр. Гидропроекта, 1993, вып.158, с.66-82.
69. Стафиевский В.А., Ромов Л.Я. Влияние Саяно-Шушенского гидроэнергетического комплекса на окружающую среду. //ГТС, 1994, 4, с.3-9.
70. Шумаков Б.Б., Михура В.И. Международное сотрудничество в области использования и охраны вод. //ГТС, 1994, 7, с.1-3.
71. Судаков В.Б. Экологические аспекты современных технологий в плотиностроении. //ГТС, 1994, 11, с.6-7.
72. Судаков Р.С., Алтунина Г.С. Игровая модель выбора экологических отчислений при получении прибыли от использования природных ресурсов. //ГТС, 1995, 1, с.12-14.

73. Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В., Векслер А.Б. Оценка риска неблагоприятных социально-демографических последствий строительства и эксплуатации гидроузлов. // ГТС, 1995, 4, с.30-35.
74. Шульдишов В.М. Проблемы экологии малых водоемов и способы их решения. // ГТС, 1995, 4, с.35-36.
75. Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В., Векслер А.Б. Некоторые результаты расчета социального риска, связанного с трансформацией русла реки в нижнем бьефе гидроузла. // ГТС, 1995, 5, с.4-8.
76. Данилевский А.А. Малые ГЭС в Соединенных Штатах Америки. // ГТС, 1995, 5, с.34-38.
77. Керро Н.И. О зарубежных методиках экологического обоснования строительства гидротехнических объектов. // ГТС, 1995, 5, с.38-40.
78. Глуханьков В.П. Кто хозяин водохранилища? // ГТС, 1995, 5, с.46-47.
79. Алтуний В.С. Экологическая безопасность гидротехнического строительства. О книге: Мирихулава Ц.Е. Экологические нарушения (предсказание риска нарушения, меры по снижению опасности). Тбилиси: Грузинский институт водного хозяйства и инженерной экологии академии наук Грузии, 1993. // ГТС, 1995, 5, с.51-52.
80. Федоров М.П., Боголюбов А.Г., Масликов В.И. Экологическая безопасность электростанций с возобновляемыми источниками энергии. // ГТС, 1995, 6, с.32-35.
81. Алтуний В.С. Международная академия экологии и природопользования. // ГТС, 1995, 8, с.6-8.
82. Алтуний В.С., Гогошидзе В.В. Экология дельтовых участков рек и эстуариев. // ГТС, 1995, 8, с.6-8.
83. Следюк А.П. Единый экологический мониторинг России. // ГТС, 1995, 11, с.7-9.
84. Обыденный П.Т., Обыденный И.П. Проблемы экологии: поиски и решения. // ГТС, 1995, 11, с.10-16.
85. Данилевский А.А. Псевдоэкологи и плотины в Соединенных Штатах Америки. // ГТС, 1996, 2, с.38-40.
86. Битюков В.П. Экологические проблемы Новосибирского водохранилища: основные направления и пути их решения. // ГТС, 1996, 5, с.51-53.
87. Алтунина Г.С. Оценка критического загрязнения водоемов. // ГТС, 1996, 7, с.44-45.
88. Румянцев И.С., Козлов Д.В. Учебник «Рациональное использование и охрана водных ресурсов» О кн.: Авакян А.Б., Широков В.М. Рациональное использование и охрана водных ресурсов. Екатеринбург: Изд. «Виктор», 1994, 319 с. // ГТС, 1996, 7, с.53-54.
89. Дебольский В.К. Проблема предотвращения вторичных загрязнений водохранилищ. // ГТС, 1996, 11, с.46-47.

90. **Парабучев И.А.** Задачи исследований неблагоприятных последствий взаимодействия эксплуатируемых гидротехнических сооружений с геологической средой и их рациональные решения. //ГТС, 1996, 12, с.1-4.
91. **Битюков В.П.** Новосибирское водохранилище: экологические аспекты эксплуатации. //ГТС, 1996, 12, с.47-52.
92. **Керро Н.И.** Сравнительный анализ современных методов оценки воздействия на окружающую среду гидротехнических объектов. //ГТС, 1996, 12, с.57-60.
93. **Керро Н.И.** Современные зарубежные подходы к оценке воздействия гидротехнического объекта на окружающую среду. //ГТС, 1997, 2, с.54-56.
94. **Алтунин В.С.** Экологический мониторинг водных ресурсов. //ГТС, 1997, 3, с.1-4.
95. **Железняков Г.В.** Гидравлические и гидрологические аспекты инженерной экологии. //ГТС, 1997, 3, с.5-7.
96. **Карасев И.Ф.** Эколого-гидрологические характеристики водного режима рек. //ГТС, 1997, 5, с.40-45.
97. **Салтанкин В.П., Мельниченко И.Г., Бойченко В.К., Дмитриева И.Л.** Экологическое обоснование рекреационного использования Подольского водохранилища. //ГТС, 1997, 6, с.34-40.
98. **Пантелеев В.Г., Глебов А.И., Корытова И.В., Сольский С.В., Готлиф А.Л., Алексеева Т.Е., Чугаева Г.А., Фролова А.Н., Гольдина Т.М.** Надежность и экологическая безопасность намывных золошлакоотвалов ТЭС. //ГТС, 1997, 7, с.35-41.
99. **Ефремов Н.А., Богданов Н.Г.** Оценка экологических воздействий на объектах гидромеханизации. //ГТС, 1997, 11, с.16-20.
100. **Керро Н.И.** Зарубежный опыт по планированию компенсации ущерба окружающей среде при возведении и эксплуатации гидротехнических объектов. //ГТС, 1997, 11, с.21-24.
101. **Пономарев Н.К.** Вопросы управления процессами экологии и природопользования. //ГТС, 1998, 4, с.1-4.
102. **Семенов И.В., Дмитриева И.Л., Каякин В.В., Мулина А.В.** Мониторинг в системе обеспечения экологической безопасности гидроэнергетических объектов. //ГТС, 1998, 6, с.33-40.
103. **Водные объекты: проблемы и решения** (интервью с первым заместителем министра природных ресурсов России Н.Н. Михеевым). //ГТС, 1998, 8, с.1-4.
104. **Михеев Н.Н.** Водохозяйственная политика. //ГТС, 1998, 8, с.5. **Концепция государственной политики устойчивого водопользования в Российской Федерации (проект).** //ГТС, 1998, 8, с.5-24.
105. **Стафиевский В.А., Ромов Л.Я.** Влияние Саяно-Шушенского гидроэнергетического комплекса на окружающую среду. //ГТС, 1998, 9, с.19-22.

106. Стахеев В.А. Саяно-Шушенский биосферный заповедник в системе компенсирующих природоохранных мероприятий в зоне Саяно-Шушенской ГЭС. //ГТС, 1998, 9, с.93-95.
107. Дмитриева И.Л. Влияние природного полиметаллического фона на экологическую обстановку и качество воды озер и водохранилищ. //ГТС, 1998, 10, с.33-38.
108. Керро Н.И. Метод контрольного списка - один из подходов к экологической экспертизе проекта. //ГТС, 1998, 10, с.39-40.
109. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Осипов Г.К. Бассейново-ландшафтовый подход к организации экологического мониторинга гидрокомплексов на основе геоинформационных технологий. //ГТС, 1998, 11, с.25-28.
110. Шилин М.Б., Василевский А.Г., Кашеварова А.Г. Экологические аспекты реконструкции Волховской ГЭС. //ГТС, 1998, 11, с.28-32.
111. Федоров М.П., Заир-Бек И.А. Экологический подход к проектированию гидроэнергетических объектов. //ГТС, 1998, 11, с.33-36.
112. Усачев И.Н., Марфенин Н.Н. Экологическая безопасность приливных электростанций. //ГТС, 1998, 12, с.19-24.
113. Шилин М.Б., Федоров М.П., Ключков Е.Ю., Лукьянов С.В., Погребов В.Б. Оценка экологической ситуации в бассейне Кислогубской приливной электростанции. //ГТС, 1998, 12, с.25-30.
114. Дмитриева И.Л. Экология и безопасность гидротехнических сооружений. //БЭС, 1998, вып.1, с.70-74.
115. Авдотьин В.П., Самсонов К.П. Оценка экономического ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: методологический аспект. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.55-62.
116. Дмитриева И.Л., Гурьевич Т.Б., Лебедева И.П. Современные экологические проблемы водохранилищ (по материалам международных конференций). //БЭС, 1998, вып.2-3, с.246-252.
117. Колпачков Ю.М. Проблемы защиты рыб на водозаборах ТЭС. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.252-258.
118. Керро Н.И. Зарубежный опыт организации и проведения оценки воздействия гидротехнических объектов на окружающую среду. //ГТС, 1999, 4, с.46-49.
119. Авакян А.Б., Герасимов Ю.В., Поддубный С.А. Актуальные проблемы экологического обустройства водохранилищ. //ГТС, 1999, 6, с.2-7.
120. Сукач М.К. Техногенно-экологические аспекты подводных земляных работ. //ГТС, 1999, 6, с.8-9.
121. Гиргидов А.Д., Шилин М.Б. Эколо-гидравлические основы расчетов природоимитирующих рыбоходов. //ГТС, 1999, 6, с.12-15.
122. Румянцев И.С., Козлов Д.В. Экологические проблемы водохранилищ России и конструктивная гидроэкология. //ГТС, 1999, 6, с.53-54.

ХII. О НАУЧНЫХ ФОРУМАХ

а) По безопасности гидротехнических сооружений

1. Серков В.С. Обеспечение безопасности плотин [о семинаре ЕЭК ООН в г.Рованиеми, Финляндия, 1988 г.]. //ГТС, 1990, 9, с.51-53.
2. Садовский С.И., Семенков В.М., Торопов Л.Н., Радченко В.Г. Международный симпозиум по аналитической оценке вопросов безопасности плотин. //ГТС, 1990, 6, с.45-49.
3. Соколов И.Б., Логунов В.А. Всесоюзное совещание по предельным состояниям бетонных и железобетонных конструкций энергетических сооружений (ПРЕДСО-90). //ГТС, 1991, 2, с.57-58.
4. Василевский А.Г., Макаров И.И. Научно-техническое совещание «Основные направления совершенствования исследований и проектирования энергетических объектов ТЭС и АЭС» [систем технического водоснабжения и охладителей]. //ГТС, 1992, 1, с.36-39.
5. Зотов В.М. Школа-семинар передового опыта по обеспечению безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений электростанций [11-15 июля 1994г., г.Жигулевск, на базе Волжской ГЭС имени В.И. Ленина]. //ГТС, 1994, 10, с.34-35.
6. Ивашинов А.Д., Василевский А.Г., Артюхина Т.С. Научно-техническое совещание «Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений электростанций» (БГЭС-94) //ГТС, 1995, 2, с.2-4.
7. Ивашинов А.Д., Артюхина Т.С. Динамика энергетических сооружений: проблемы и решения [о научно-техническом совещании «Динамика энергообъектов» (ДЭС-95)]. //ГТС, 1995, 7, 1-3.
8. Василевский А.Г., Артюхина Т.С., Антипов А.Г. Научно-техническое совещание-семинар «Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений, находящихся в длительной эксплуатации» (БГЭС-95). //ГТС, 1996, 1, с.26-27.
9. Шемякин Е.И., Фадеев А.Б., Речицкий В.И. Форум российских геомехаников [о XI Российской конференции по механике горных пород, СПбГАСУ, г.Санкт-Петербург, 9-11 сентября 1997г.]. //ГТС, 1998, 4, с.50-51.
10. В научно-техническом центре по безопасности гидротехнических сооружений [о заседании Координационного совета по безопасности гидротехнических сооружений 13 ноября 1997г.]. //ГТС, 1998, 2, с.1.
11. Лашенков С.Я. Международный симпозиум по новым тенденциям и основным направлениям в обеспечении безопасности плотин. Иващенко И.Н. Законодательство и руководства по безопасности плотин. Радченко В.Г., Щербина В.И. Конструктивная безопасность плотин. Асарин А.Е., Прудовский А.М. Гидрологическая безопасность. //БЭС, 1998, вып.2-3, с.258-291.
12. Ивашинов Д.А., Василевский А.Г., Радченко В.Г. Международный симпозиум по новейшим тенденциям и нормативным документам по безопасности плотин. //ГТС, 1999, 4, с.50-54.

б) По экологии и охране окружающей среды

- 1. Василевский А.Г., Трегуб Г.А.** Всесоюзное научно-техническое совещание «Исследование влияния сооружений гидроузлов на ледовый и термический режимы рек и окружающую среду» (Лед-89). //ГТС, 1990, 6, с.55-56.
- 2. Каненкова Т.Н.** Совещание по природоохранным мероприятиям. //ГТС, 1990, 6, с.59-60.
- 3. Шапиро Л.Н.** Заседание секции водохранилищ Научного совета «Комплексное использование и охрана водных ресурсов» ГКНТ СССР. //ГТС, 1991, 8, с.53-55.
- 4. Авакян А.Б., Джамалов Р.Г.** Вторая конференция стран СНГ - США по гидрологическим и гидрогеологическим проблемам охраны окружающей среды [16-21 мая 1993г., г.Вашингтон, США]. //ГТС, 1994, 1, с.48-50.
- 5. Алтуни В.С., Сапожников Н.Г., Султан И.** По материалам международного конгресса «Вода: экология и технология» [Москва, 6-9 сентября 1994 г.]. //ГТС, 1995, 3, с.47-54.
- 6. Калмыкова Н.И., Ременяк М.Б.** XII научно-технический семинар изыскателей АО «Институт Гидропроект» [на тему] «Проблемы надежности оснований и экологических последствий эксплуатации построенных энергетических сооружений». //ГТС, 1996, 12, с.39-40.
- 7. Дмитриева И.Л., Жиркевич А.Н., Каякин В.В.** Международный конгресс «Вода: экология и технология» (ЭКВАТЕК -96). //ГТС, 1997, 1, с.30-32.
- 8. Румянцев И.С., Кромер Р.** Международное совещание по проблемам сбора и переработки плавающего мусора на речных гидроузлах [ноябрь 1997г., г.Бад-Зэкинген, Германия]. //ГТС, 1999, 2, с.55-57.

Содержание

<i>Бритвин О.В.</i> Перспективы развития энергетики России	3
<i>Бритвин С.О., Золотов Л.А.</i> 50-летний юбилей НИИЭС	9
<i>Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Ляпин О.Б., Нефедов А.В.</i> О повышении безопасности напорных водоводов ГЭС «Три ущелья» (КНР)	15
<i>Марчук А.Н., Фахри С.А., Марчук Н.А.</i> Первые результаты исследований геодинамического влияния на безопасность высоконапорных бетонных плотин	25
<i>Михайлов О.В., Ильин Ю.А., Лгалов В.В., Новиков С.П., Жуков Н.И., Водлазкин П.В.</i> Определение напряженно-деформированного состояния стенки камеры шлюза Балаковского РГС с использованием шурфа в тыловой зоне сооружения.	35
<i>Рассказов Л.Н., Бестужева А.С., Саинов М.П.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния бетонной «стены в грунте» основания плотины и ее надежности	44
<i>Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Финк А.К., Горбунов В.М.</i> Расчетное обоснование безопасной эксплуатации подкрановой эстакады и агрегатного блока машзала ГЭС Тери (Индия)	52
<i>Пронина Л.Э., Аишхмен В.А.</i> К вопросу о повышении безопасности арочных плотин после нескольких лет эксплуатации.	61
<i>Блинов И.Ф., Пермичев С.Ф., Кузнецов В.С.,</i> Результаты обследования гидротехнических сооружений Нижегородской ГЭС в 1998г.	69
<i>Козлов О.В., Коптев В.И.</i> Долговременные акустико-эмиссионные наблюдения на участке Загорской ГАЭС	77
<i>Седых Ю.Р., Семененок С.Н.</i> Опыт ремонтных работ, обеспечивающих надежную эксплуатацию бетонных сооружений ГЭС и ТЭС	87
<i>Борисова Т.Е., Затворницкая Т.А., Пухов И.Е., Магитон А.С., Соколов Л.Д.</i> Обследование состояния гидротехнических сооружений Пермской ГРЭС и рекомендации по технологии ремонта плит откоса отводящего канала	99
<i>Ильин Ю.А., Коновалов И.К., Фильков В.Н.</i> Опыт применения преобразователей силы арматурных типа ПСАС и ПСАС-Т в железобетонных конструкциях Курской АЭС в условиях повышенных и высоких температур	107
<i>Белостоцкий А.М., Чамов Б.М., Чамов И.К.</i> Численные исследования статического и сейсмического напряженно-деформированного состояния пространственной комбинированной системы «строительные конструкции - оборудование» энергетического сооружения	113
<i>Рассказов Л.Н. Бестужева А.С., Абарин А.М.</i> Безопасность грунтовой плотины при сейсмических воздействиях в пространственной постановке	126

<i>Ляпичев Ю.П.</i> Достоверность современных численных методов расчета поведения строящихся и эксплуатируемых плотин	134
<i>Дудин А.В.</i> Опыт применения ЭВМ при уравнивании больших нивелирных сетей	149
<i>Школьников С.Я.</i> Математическое моделирование половодных волн с учетом гидравлического трения по данным гидрологических наблюдений	163
<i>Родионов В.Б., Куприянов В.П.</i> Организация пропуска паводков в стесненных горных условиях на гидроузле Коусар (Иран)	172
<i>Луначи М.Э.</i> Выбор компоновочных решений малых гидроэлектростанций на равнинных реках	183
<i>Золотов А.Л., Клабуков В.М.</i> Переходные процессы и обеспечение безопасной эксплуатации напорных водоводов ГЭС Аль Вахда (Марокко)	192
<i>Авдоткин В.П., Самсонов К.П.</i> Методические основы оценки социально-экономических последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера	201
<i>Каякин В.В., Мулина А.В., Дмитриева И.Л.</i> Оценка экологической безопасности воздействия гидроэнергетических сооружений на окружающую среду по критериям экологической безопасности ..	217
<i>Горбушина В.К., Харькина М.А.</i> Анализ экологических последствий активизации оползней в скальных массивах на участках гидроэнергетических объектов	232
<i>Усачев И.Н., Микоц Л.М.</i> Экологическая безопасность проектируемой Мезенской ПЭС	238
<i>Москалина Ф.Н., Бейлин Я.Л., Храмчихин А.М., Преснов Г.В., Бритвин С.О., Розенфельд А.А., Будаев С.С., Егоров Н.С.</i> Экологическая безопасность и проблемы утилизации карбонатных шламов предочисток тепловых электростанций	247
<i>Самарин В.Г.</i> Библиография публикаций по безопасности гидротехнических сооружений	251

**ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОФОРМЛЕНИЮ
СТАТЬИ ДЛЯ СБОРНИКА
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ».**

Редактор - Word 7 или 6 (MICROSOFT OFFICE 95/98)

Шрифт: - Times ET или Times New Roman:

текста статьи - кегль 10;

заглавия - 10, **ВСЕ ПРОПИСНЫЕ**, п/ж

фамилий авторов - кегль 10, выделяются *п/ж курсивом*,
должности - *курсивом*;

таблиц, подписей к таблицам и рисункам - кегль 9.

заголовка ЛИТЕРАТУРА - 9, по центру, все прописные;

списка литературы - кегль 9, фамилии авторов выделяются п/ж.

Формулы набираются в программе «Редактор формул».

Однорядные математические и химические формулы набираются гарнитурой основного шрифта кеглем 9. В многорядных математических формулах кегль может быть понижен на 2 пункта.

Список литературных источников дается по мере ссылок на них в следующей последовательности - автор, название статьи, журнал, год, , или автор, название книги, город, издательство, год

Подписи к таблицам располагаются перед таблицей по центру, таблиц - в правом верхнем углу, в таблицах дается сетка.

Подписи к рисункам располагаются внизу по центру рисунка, подпись, условные обозначения рисунка выделяется п/ж.

Ссылки на литературу даются в тексте в квадратных скобках.

Формулы, таблицы и рисунки располагаются в тексте на диске по мере ссылок.

Параметры страницы (формат А4):

Поля: верхнее-1,7; нижнее-1,8; левое-2; правое-16,7;

Колонтитулы: верхний - 1,2, нижний - 1,4;

нумерация - внизу по центру; абзац - 0,5.

Расстояние между названием статьи и фамилиями авторов, фамилиями авторов и текстом статьи, текстом статьи и литературой 2 интервала.

Объем статьи - до 10 страниц в рамках указанных размеров, включая таблицы и рисунки.

**Безопасность энергетических сооружений.
Сборник**

Научные редакторы И.В. Семенов, В.Б. Родионов
Технический редактор Т.А. Григорьева
Компьютерная верстка А.Г. Мелихова

Подписано в печать 6.09.99
Формат 60х90/16. Гарнитура Таймс
Бумага офс. №1. Печать офсетная.
Объем 18 п.л. Тираж 1000 экз.
ИПЦ «Глобус», г. Москва, ул. Большая грузинская, 70